

Die Bedeutung der Körperbewegung
für den Kohlehydratstoffwechsel
des diabetischen und gesunden Menschen
und die therapeutischen Möglichkeiten
beim Diabetes mellitus.

Eine Übersicht über die internationale Literatur
von 1856 bis jetzt.

Renate Giel

Aus der Medizinischen Poliklinik der
Universität München
Direktor: Prof. Dr. W. Seitz

Die Bedeutung der Körperbewegung für den Kohlehydratstoff -
wechsel des diabetischen und gesunden Menschen und die
therapeutischen Möglichkeiten beim Diabetes mellitus.

Eine Übersicht über die internationale Literatur von 1856 bis jetzt.

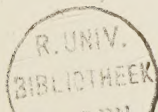
Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig - Maximilians - Universität zu München

vorgelegt von

Renate Giel
aus Wuppertal

München 1958



Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Referent: Prof. Dr. W. Seitz

Dekan: Prof. Dr. W. Büngeler

Tag der mündlichen Prüfung: 13. 5. 58

Herrn Dr. J. Cremerius danke ich für die
Überlassung des Themas.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555216_0041

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
Einleitung	1
1.) Der Einfluß der Muskularbeit auf den Kohlehydratstoffwechsel des Diabetikers, geordnet nach	
a) Schwere des Falles	2
b) Art des Falles (Jugend oder Alter)	6
c) dem Vorhandensein bestimmter Komplikationen	7
d) nach Fällen mit und ohne Insulinbehandlung	8
e) Zusammenfassung	12
2.) Der Einfluß der Muskularbeit auf den Kohlehydratstoffwechsel des Gesunden, geordnet nach	
a) der Arbeitsdauer	13
b) der individuellen Anstrengung	14
c) dem Trainingszustand der Versuchspersonen	15
d) Änderung des Kohlehydratassimilationsvermögens durch Muskularbeit	16
e) Zusammenfassung	17
3.) Ergebnisse der tierexperimentellen Forschung	18
Zusammenfassung	20
4.) Übersicht der Theorien	20
Zusammenfassung	30
5.) Möglichkeiten der therapeutischen Verwendung von Muskularbeit bei Diabetikern	
a) als alleiniges Heilmittel	31
b) in Kombination mit Diät	32
c) mit Diät und Insulin	34
d) Zusammenfassung	42
Anhang	
a) Literaturverzeichnis	I
b) Lebenslauf	

Aufgabe dieser Arbeit ist es, anhand einer Zusammenstellung von veröffentlichten Versuchen und klinischen Erfahrungen darzulegen, auf welche Weise (Theorien) Körperbewegung den Kohlehydratstoffwechsel beeinflußt und inwieweit eine Behandlung der Zuckerkrankheit durch Muskelarbeit möglich und wünschenswert ist.

Nachdem Wunderlich (58) und Trousseau (55) rein empirisch die günstige Wirkung der Körperbewegung auf das Befinden von Zuckerkranken entdeckt hatten, wiesen bis in die Gegenwart hinein immer wieder namhafte Kliniker auf den Einfluß der Muskelarbeit auf den Kohlehydratstoffwechsel der Diabetiker hin und stellten zahlreiche Versuche an, um sein Wesen genauer zu ergründen. Auch an gesunden Versuchspersonen sowie an Tieren untersuchte man den Zusammenhang von Muskelarbeit und Größe des Zuckerstoffwechsels, vor allem, um ihn im Hinblick auf diabetische Patienten zu klären.

1. Der Einfluß der Muskulararbeit auf den Kohlehydratstoffwechsel des

Diabetikers

geordnet nach:

- a) Schwere des Falles (beurteilt entsprechend der Höhe der Zuckerausscheidung und dem Vorhandensein oder Fehlen von Ketonkörpern im Harn).

Schon Zimmer (60) stellte bei seinen Versuchen mit Körperbewegungstherapie an Zuckerkranken fest, daß nicht alle Patienten gleich gut auf Muskulararbeit ansprachen. Gute Erfolge erzielte er vor allem bei leichten Diabetikern, deren Muskulatur noch leistungsfähig ist. Bei diesen konnte durch Spaziergehen und ähnliche Muskelübungen eine bei normaler gemischter Kost bestehende Glykosurie auf Spuren herabgedrückt oder völlig zum Verschwinden gebracht werden.

V. Mering (44) ließ einen schweren Diabetiker bei reiner Fleischkost stundenweise das Rad einer Maschine drehen, wobei seine Zuckerausscheidung stark absank. Der Patient war ziemlich muskelkräftig, und sein Allgemeinzustand besserte sich mehr und mehr bei der täglich ausgeführten Arbeit. Später betont v. Mering (45) noch einmal, daß nicht nur bei der leichten, sondern auch bei der schweren Form des Diabetes in der Regel die Zuckerausscheidung durch Muskelanstrengung abnimmt oder vorübergehend sogar gänzlich verschwindet.

Albu (1) beobachtete den Kohlehydratstoffwechsel eines schweren jugendlichen Diabetikers, der neben seiner geschäftlichen Tätigkeit - bei 4000 Kalorien mit 150 Gramm Kohlehydraten - täglich eine halbe bis zwei Stunden Rad fuhr. Er befand sich bei gutem Allgemeinzustand, den Albu vor allem auf die starke Muskeltätigkeit zurückführt. Unmittelbar nach dem Radfahren stellte Albu jeweils eine wesentlich verminderte Zuckerausscheidung fest, die mehrere Stunden anhielt. Bei reiner Fleischkost trat diese günstige Wirkung der Muskulararbeit nicht ein. Niemals wurde nach dem Radfahren Azeton im Harn gefunden.

Zachariae (59) machte bei seinen Arbeitsversuchen an Gesunden und Diabetikern erstmalig neben Harn- auch Blutzuckeruntersuchungen, deren Wichtigkeit er betont, da eine Hyperglykämie mit der Glykosurie nicht immer parallel gehe. Bei 7 von 9 Diabetikern fand Zachariae eine Erniedrigung der Blutzuckerwerte nach bis zur Ermüdung durchgeführter Arbeit, wobei die Schwere des Falles auf das Versuchsergebnis keinen entscheidenden Einfluß hatte. Ganz allgemein könne man in Fällen, in

denen eine diätetische Entzuckerung leicht vonstatten geht, auch mit Erniedrigung des Blutzuckers durch Muskelarbeit rechnen.

Lichtwitz (43) beobachtete bei seinen Arbeitsversuchen an Zuckerkranken, daß nach längerer Behandlung und Kompensation des Kohlehydratstoffwechsels auch bei schwerem Diabetes nach Arbeit eine Senkung des Blutzuckers eintrat, während bei Zuckerkranken mit unkompensierter Stoffwechsellaage der Blutzuckerspiegel nach den Arbeitsversuchen teilweise um 100 mg % anstieg.

Bürger (15) ließ völlig nüchterne Zucker Kranke leichten, mittleren und schweren Grades eine Steigarbeit von etwa 416 m in ein bis eineinhalb Stunden ausführen. Bürger betont, daß die vollbrachte Arbeit leicht war und nicht von hochgradig azidotischen Kranken geleistet wurde. Alle Versuchspersonen, die nach der Arbeit eine erhebliche Vermehrung des Blutzuckers zeigten, waren mittelschwere bis schwere Diabetiker. Unter denen mit Blutzuckersenkung fanden sich vor allem die leichten Fälle. Wurde den Kranken direkt im Anschluß an körperliche Betätigung Glukose injiziert, so fand sich stets eine geringere Erhöhung des Blutzuckers als ohne vorangegangene Arbeit. Dieser sank in den folgenden Stunden sogar erheblich unter den Ausgangswert und zwar auch bei solchen Probanden, die auf Arbeit allein mit Blutzuckervermehrung reagiert hatten. Bei Vergleichen von Blut- und Harnzucker zeigte sich bei 6 von 20 untersuchten Fällen, daß die Werte einander nicht entsprachen. Die Azetonkörperausscheidung war während der Arbeitsperiode und in den ersten Stunden danach etwas herabgesetzt.

Neben dem Glykogenvorrat des Körpers hält Bürger (16) den Charakter des Diabetes für ausschlaggebend bei der Arbeitsreaktion. Der schwere jugendliche Zucker Kranke reagiere eher mit einer Arbeitshyperglykämie als der Altersdiabetiker. In jedem Fall wirke sich eine geregelte Diät auf die Arbeitsblutzuckerkurve günstig aus. Auch bei azidotischen Fällen kann nach Bürgers Erfahrung die Glykosurie durch Arbeit beseitigt werden, wobei die Azetonausscheidung durch geringe Kohlehydratzulagen verschwindet.

Grafe und Salomon (28) führten an schweren und mittelschweren Diabetikern nach einer gewissen Besserung ihres Zustandes Respirationsversuche bei Muskelarbeit aus. Denn es kann, wie die Autoren hervorheben, nicht allein durch Blut- und Harnzuckeranalysen entschieden werden, ob und in welchem Umfang bei Arbeit Kohlehydrate verbrennen, da Glykogen als zweite Unbekannte bleibt.

Während eines Ruhenüchternversuchs schwankte der respiratorische Quotient zwischen 0,716 und 0,836, entsprechend der Schwere des Einzelfalles. Wie Grafe und Salomon schreiben, ist der respiratorische Quotient ein feiner Indikator für die Schwere der Erkrankung und den Grad der Zuckertoleranz. Während der Arbeit sank der RQ stets ab, im Durchschnitt um 0,0252. Die Berechnung der verbrannten Zuckermenge ergab, daß nur zweimal während der Arbeit weniger Zucker verbrannt wurde als vorher. Einmal war weder bei Ruhe noch bei Arbeit eine Zuckeroxydation zu erkennen. Alle anderen Fälle zeigten eine deutliche Steigerung, die allerdings viel geringer war, als der Gesamtzunahme der Wärmeproduktion entsprach. Die Glykosurie sank während nicht erschöpfender Arbeit oft bis auf 0. In der Regel wurde bei erhöhter Zuckerverbrennung weniger Zucker ausgeschieden, ohne daß ein strenger Parallelismus bestand.

Beim schweren Diabetiker, bei dem das Inselorgan nur noch minimal zu reagieren vermag, kommt es, wie Gerl und Hofmann (25) schreiben, wofern noch Glykogenreserven in der Leber vorhanden sind, unter Muskelarbeit zu einer Mobilisation von Zucker, zur Steigerung des Blutzuckers und zur Glykosurie.

Der gleichen Erkenntnis gibt v. Noorden (48) Ausdruck, wenn er schreibt, Muskulararbeit pflege in der Regel bei gleichbleibender Ernährung die Glykosurie Zuckerkranker herabzusetzen. Oft werde jedoch - manchmal bei Leichtkranken, vor allem aber bei Schwerdiabetikern - eine gegenteilige Wirkung hervorgerufen. Bei Schwerzuckerkranken, die nur mit Fett und Eiweiß ernährt wurden, machte v. Noorden die Erfahrung, daß die Blutzuckersenkung der jeweiligen Arbeitsleistung nicht parallel geht.

Brauch (8) verglich das Verhalten von Blut- und Harnzucker und das Allgemeinbefinden während der Arbeit mit dem während absoluter Bettruhe. Er fand bei den untersuchten Zuckerkranken ein individuell verschiedenartiges Verhalten, das sich nicht nur nach der Schwere des Diabetes richtete. Die Möglichkeit, daß die Überproduktion von Glukose den Arbeitsmehrverbrauch übersteigt, ist besonders bei den schweren Störungen des Zuckerhaushaltes gegeben, bei denen man daher besonders vorsichtig sein muß. Auch Brauch empfiehlt wiederholte Blutzuckeruntersuchungen, da das Blutzuckerverhalten nicht immer aus dem Harnzucker ersichtlich sei. Er fordert eine genaue Überwachung der Ketonkörperausscheidung und widerrät körperliche Arbeit bei azidotischen Diabetikern.

Brauch (7) schließt jedoch aus seinen Versuchen, daß man bei dauernder individueller Diät und Insulintherapie auch Schwerdiabetiker, denen man früher keine Arbeitsbelastung zumuten konnte, heute mit Erfolg einer Arbeitstherapie unterziehen kann.

Da nach Ansicht von Rothkopf und Schorn (52) die Bestimmung von Ketonkörpern im Harn allein sehr unvollständig ist, maßen sie in Ruhe und während eines Arbeitsversuchs die Azetonausscheidung in der Atemluft von Diabetikern. Diese befanden sich in meist gutem Allgemeinzustand und wiesen kein Azeton im Harn auf. Zu Beginn der Arbeit stieg infolge vermehrter Ventilation die Azetonausscheidung an. Während länger dauernder Arbeit sank dann im allgemeinen die Azetonausscheidung, lag aber höher als der Ruhewert. Auf die Einheit des Sauerstoffverbrauchs und des Kalorienumsatzes bezogen nahm die Azetonbildung unter Arbeit jedoch ab. Nur wenige Kranke reagierten mit besonders hoher Azetonbildung. Rothkopf und Schorn schließen aus ihren Versuchen, daß bei den meisten leichten Diabetikern eine schwere Arbeitsbelastung im Hinblick auf die Azetonbildung unbedenklich ist.

Falta (24) warnt vor Muskularbeit schwerer, zu Azidose neigender Zuckerkranker, die schon an und für sich schwer einzustellen sind, da hier größere körperliche Anstrengungen das mühsam errungene Gleichgewicht zu sehr stören.

Katsch (38) wendet sich entschieden gegen die Meinung zeitgenössischer Autoren, die vor Belastung Zuckerkranker mit Muskularbeit warnen, wenn sie streng ist und wenn es sich um Schwerdiabetiker handelt. Er betont, daß durch die Einbeziehung des Insulins in die Therapie der Zuckerkrankheit die dem Diabetiker mit Nutzen zumutbare Arbeit erheblich gesteigert werden könne. Katsch widerrät körperliche Arbeit bei schlechter Kohlehydratverwertung und im Präkoma. Muskularbeit sei nur dann schädlich, wenn gar kein Insulin zur Verfügung steht, und wenn sich die Muskulatur nach längerer Stoffwechseldekompensation in einem Verfallszustand befindet.

Joslin (36) fordert, jeden Diabetiker zur regelmäßigen Körperbewegung anzuhalten, sofern keine begleitende Komplikation vorliegt; dadurch werde die Nahrungstoleranz verbessert und es sei die Aufnahme größerer Diätmengen bei geringeren Insulindosen möglich. Schädlich oder sogar letal sei Muskularbeit dann, wenn sie von einem Schwerzuckerkranken ausgeführt wird, dessen Diabetes unbehandelt oder überbehandelt ist, und der dabei hypoglykämisch wird.

Nach Wiechmann (57) reagierte der leichte Diabetiker auf Muskularbeit mit einem Abfall der Blutzuckerkurve nach geringem initialem Anstieg. Das Verhalten des Blutzuckers nach körperlicher Arbeit ist, wie Wiechmann schreibt, von der Größe der Toleranz abhängig. Je schlechter die Toleranz, desto schneller und höher steigt der Blutzucker.

Grafe (27) schreibt, nicht ermüdende Muskularbeit könne - sogar beim Schwerkranken - die Blutzuckermenge und in etwas schwächerem Maße auch die Glykosurie herabsetzen; denn auch der diabetische Muskel besitze noch, wenn auch in geringerem Grad als der gesunde, die Fähigkeit, Zucker zu verbrennen. Grafe führt jedoch die Beobachtung von Allan, Stillman und Fitz an, daß der schwere und elende Diabetiker schon bei geringer Leistung mit einer Stoffwechselverschlechterung reagiert, und daß es dabei häufig zur Azidose kommt. Der leichte Diabetiker dagegen reagiere bei mittlerer Arbeit mit einer Senkung von Blut- und Harnzucker. Mehrere Autoren (18, 38, 27, 57) betonen, daß die günstige oder schädliche Wirkung der Muskularbeit auf den diabetischen Organismus weniger von dem Grad der Erkrankung abhängig ist, als von der Ausgeglichenheit bzw. Dekompensation des Kohlenhydratstoffwechsels. Denn ein diätetisch ungeordneter leichter Diabetiker reagiert oft mit einer starken und langanhaltenden Arbeitshyperglykämie, während Diät und Insulinbehandlung auch einen schweren azidotischen Diabetiker in einen Zustand versetzen können, in dem sein Blutzuckerspiegel durch Muskularbeit gesenkt wird.

b) Art des Falles (Jugend oder Alter)

Die Fähigkeit eines Diabetikers, Muskularbeit zu leisten, und der Erfolg dieser Arbeitsleistung sind abhängig von der Leistungsfähigkeit der Muskulatur (60, 38, 11) und damit in gewisser Weise vom Alter des Patienten, aber auch vom Training. So sah Albu (1) bei einem jugendlichen schweren Diabetiker bei geeigneter Diät nach gewohnheitsmäßiger starker Muskulanstrengung regelmäßig eine erhebliche Verminderung der Harnzuckerausscheidung, die mehrere Stunden anhielt. Dabei trat niemals Azeton im Harn auf.

Schlechte Erfahrungen machte Brauch (8) mit einem jugendlichen Diabetiker, der früher mehrmals ein Koma durchgemacht hatte. Er zeigte schon auf leichte Muskularbeit hin eine ungünstige Reaktion mit verzögertem Blutzuckergefälle und Verschlechterung des Allgemeinzustandes.

Falta (24) weist darauf hin, daß bei den abgemagerten jüngeren insulinempfindlichen Diabetikern selbstverständlich zuerst der Ernährungszustand

gehoben werden muß, bevor mit dem Muskeltraining begonnen werden kann.

Die ausgezeichnete Wirkung regelmäßiger Körperbewegung auf den Kohlehydratstoffwechsel Zuckerkranker zeigt sich nach Joslin (36) besonders deutlich im viel geringeren Insulinbedarf diabetischer Kinder während des Aufenthalts in Sommerlagern, im Gegensatz zu dem größeren während des Winters, wenn sie relativ untätig sind.

Auch Chute (6) weist auf die hervorragende Bedeutung der Leibesübungen bei der Behandlung des kindlichen Diabetes hin, da sie eine Verbrennung der Kohlehydrate mit größerer Insulinsparsamkeit bewirken.

Nach Bertram, Feldkirchner und Meinecke (5) sind Kinder und Jugendliche, die spielen und Sport treiben, auf Grund ihrer ausgiebigen und unregelmäßigen körperlichen Betätigung der Gefahr des Insulinschocks besonders ausgesetzt und für eine Einstellung auf Longinsulin ungeeignet.

Bertram (4) hebt die Schwierigkeit hervor, den Charakter des Diabetes zu beurteilen, da beim Insulinmangeldiabetes Jugendlicher die Nierenschwelle für Zucker oft erniedrigt, beim älteren Zuckerkranken und bei fieberhaften Komplikationen jedoch erhöht ist.

c) Beim Vorhandensein bestimmter Komplikationen

Einige hinzukommende Komplikationen sind durchaus kein Hinderungsgrund, Muskelübungen auch bei solchen Diabetikern anzuwenden, die von ihnen betroffen werden.

So schreibt Trousseau (55), bei passender, aber durchaus nicht zu strenger Diät und täglichen Leibesübungen sei der Diabetes besonders bei fettleibigen Personen eher eine Unpäßlichkeit als eine schwere Krankheit zu nennen.

Nach Brauch's (8) Erfahrung jedoch neigen besonders fette, muskelschwache Diabetiker bei körperlichen Übungen zu Kreislaufversagen, dessen Auftreten eine absolute Kontraindikation gegen Muskelarbeit ist.

Bürger (15) berichtet von einem Arteriosklerotiker, bei dem die Arbeit kurz nach Beginn wegen Dyspnoe abgebrochen werden mußte, und der trotzdem - offenbar infolge der großen individuellen Anstrengung - einen hohen Anstieg des Blutzuckers aufwies.

Falta (24) mahnt zur Vorsicht in der Anwendung von Muskelarbeit bei älteren Diabetikern mit Arteriosklerose, Myodegeneratio cordis und Anfälligkeit für anginöse Beschwerden, Schrumpfniere bedeutet eine strenge Kon-

traindikation gegen körperliche Anstrengung. Bei Hypertonikern dagegen erweise sich ein mäßiges Training oft als äußerst vorteilhaft. Bei Fettsucht rät Falta zu sorgfältiger Individualisierung; hier sei der Zustand des Herzens besonders zu berücksichtigen.

Katsch (38) hält bei solchen Diabetikern, bei denen noch eine weitere Krankheit wie Anaemie oder Polyneuritis hinzukommt, eine Arbeitstherapie für undurchführbar.

d) Fälle mit und ohne Insulin

Vor der Insulinaera hatte man zur Behandlung der Zuckerkrankheit außer Diät nur die Muskulararbeit zur Verfügung, die daher als Therapeuticum mehr im Vordergrund stand.

So schreibt Trousseau (55), die Körperbewegung übe einen außerordentlichen Einfluß auf Zuckerkrankte aus; ohne an seiner Kost etwas zu ändern, könne ein Diabetiker für gewisse Zeit wieder zu seiner verlorenen Gesundheit gelangen, wenn er täglich tüchtige Fußtouren mache.

Auch Zimmer (60), v. Mering (44, 45) und Albu (1) empfehlen für den Diabetiker körperliche Arbeit, allerdings mehr als Ergänzung zu einer konsequent durchgeführten Diät.

Naunyn (47) warnt vor Übertreibung, da Diabetiker auf körperliche Strapazen häufig sehr ungünstig reagieren, und Lichtwitz (43) fordert als erster die Kompensation des Kohlehydratstoffwechsels vor dem Beginn einer Arbeitstherapie. Muskulararbeit kann jedoch, so schreibt Bürger (16), auch in solchen Fällen den Harnzucker beseitigen, wo dies allein durch Diät in langer Voruntersuchung nicht möglich war.

Mit der Einführung des Insulins ist die Kompensation des Kohlehydratstoffwechsels nahezu bei jedem Diabetiker - auch in sehr schweren Fällen - möglich geworden; so weisen Katsch (38) und Brauch (8) nachdrücklich darauf hin, daß man heute auch solche Fälle mit Nutzen einer Arbeitstherapie zuführen kann, denen man früher körperliche Arbeit nicht hätte zumuten können, und daß damit die Möglichkeit für eine Arbeitstherapie durch die Anwendung von Insulin erheblich gesteigert worden ist, da Muskulararbeit besonders dann schädlich ist, wenn gar kein Insulin zur Verfügung steht.

Rostoski (51) beobachtete als einer der ersten Kliniker, daß Diabetiker bei körperlichen Anstrengungen weniger Insulin brauchen bzw. mehr Kohlehydrate vertragen als in Ruhe. Patienten, die nach der Einstellung auf

Insulin aus der Klinik in einen körperlich anstrengenden Beruf zurückkehrten, neigten zu glykopriven Symptomen und mußten deshalb Leistungszulagen erhalten, die an Tagen mit wenig körperlicher Arbeit wegfielen.

Gerl und Hofmann (25) schalteten bei einigen Diabetikern während der Behandlung mit Diät und Insulin Perioden von täglich regelmäßig durchgeführter Muskularbeit ein. Die Autoren stellten fest, daß die Blutzuckerwerte umso tiefer sanken, je schwerer die Arbeit war, und daß bei strenger Muskularbeit die Insulinzufuhr bedeutend herabgesetzt werden mußte, wenn hypoglykämische Erscheinungen vermieden werden sollten. Im Verlauf von einigen Arbeitstagen verschwand - bei gleichbleibender Kost und Insulinzufuhr - die Glykosurie und es trat Hypoglykämie ein, die durch Kostzulagen und wiederholte Reduktion der Insulindosis beseitigt werden mußte. Das Körpergewicht stieg während der Behandlung durchwegs an, während der Arbeitsperioden jedoch weniger als in Zeiten ohne körperliche Betätigung.

Beim Vergleich von Blutzuckerkurven an Arbeits- und Ruhetagen bei gleichbleibender Ernährung und Insulinzufuhr finden Gerl und Hofmann zuerst einen gleichmäßigen Abfall des Blutzuckers, dann aber an dem Tag mit Muskularbeit unter Einfluß des Frühstücks einen viel langsameren und weniger hochgradigen Anstieg als an dem Tag ohne Muskularbeit.

Beim Vergleich zweier ohne Insulin gewonnener Blutzuckerkurven - die eine von einem Arbeitstag, die andere Kurve von einem Tag, an dem die Arbeit nach einstündiger Dauer abgebrochen wurde - finden die Autoren bei dieser einen geringen morgendlichen Abfall um 31 mg %, dann einen Verlauf auf gleichbleibendem Niveau. Die Arbeitskurve zeigt jedoch einen kontinuierlichen Abfall um 71 mg %.

An arbeitsfreien Tagen stieg die Glykosurie wieder an. Durch ihre Untersuchungen kommen die Autoren zu dem Ergebnis, daß der Insulinbedarf durch die Muskularbeit etwas absinkt.

Auch v. Noorden (48) beobachtete, daß insulinbehandelte Diabetiker bei gleichbleibender Kost nach körperlicher Betätigung zu hypoglykämischen Zuständen neigen.

Die Forderung, bei allen diätetischen und medikamentösen Vorschriften, die dem Diabetiker auf lange Sicht erteilt werden, stets die insulinsparende Wirkung körperlicher Arbeit im Auge zu behalten, leiten Bürger und Kramer (18) aus ihren Versuchsergebnissen ab. Die Autoren führten mit Diabetikern, die nüchtern waren und sich teils im Stoffwechselgleichgewicht befanden, teils aber noch nicht eingestellt waren, Arbeitsversuche mit und

ohne Insulingaben aus. Zur Kontrolle wurden auch Versuche durchgeführt, bei denen die Kranken nur Insulin erhielten, ohne zu arbeiten. Die unbehandelten Diabetiker zeigten unter dem Einfluß der Arbeit eine stundenlang anhaltende Arbeitshyperglykämie. Die im Stoffwechselgleichgewicht befindlichen Kranken wiesen gleich gesunden Versuchspersonen eine Arbeitshypoglykämie auf.

Weiter ergaben die Versuche, daß die blutzuckervermindernde Wirkung durch die Kombination von Arbeit und Insulin nicht einfach einem Summationseffekt entspricht. Addiert man nämlich, so schreiben Bürger und Kramer, den maximalen Zuckerverlust nach der Muskelarbeit im reinen Arbeitsversuch zu dem maximalen Zuckerverlust im reinen Insulinversuch, so erreicht die Summe in keinem Fall denjenigen Zuckerverlust, welcher durch Kombination von Insulin und Arbeit erreicht wird.

Um Anhaltspunkte zu gewinnen, wie hoch man den Faktor dosierter körperlicher Berufsarbeit im Einzelfall im Hinblick auf therapeutisches Handeln bewerten kann, führte Brauch (7) mit einigen Diabetikern bei gleicher Insulindosierung und -Platzierung eine 4-tägige Versuchsperiode durch. An zwei Vormittagen vollbrachten die Probanden eine mehrstündige, ihnen angemessene Berufsarbeit. An zwei weiteren Vormittagen hielten sie strenge Bettruhe ein. An den Ruhetagen fand Brauch höhere Blutzuckerwerte als an den Arbeitstagen, ebenso eine höhere Zuckerausscheidung im Harn. Bei 10 von 13 Fällen zeigte sich - gemessen an der Wirkung auf den Kohlehydratstoffwechsel - während körperlicher Arbeit eine vermehrte Insulinempfindlichkeit, öfter mit erhöhter Schockbereitschaft verbunden. Dabei war der Ausbruch des Schocks nicht so sehr von der absoluten Höhe des Blutzuckers als von der Größe des relativen Blutzuckergefälles abhängig.

Brauch führt die Beobachtung Bucciardis an, daß die muskuläre Leistungsfähigkeit bei Diabetikern unter Insulinwirkung verbessert wird, während bei Gesunden raschere Ermüdung eintritt.

An zwei Beispielen zeigt Bürger (17) den Einfluß von Insulin und Muskelarbeit auf die Blutzuckerkurve des diätetisch ungeordneten Diabetikers. Nach relativ geringer Arbeit von 8000 bzw. 10 000 mkg ergibt sich die typische stundenlang anhaltende Arbeitshyperglykämie. Eine Insulingabe von 10 IE allein bzw. mit 20 g Kohlehydraten bewirkte eine Senkung des Blutzuckerspiegels um 45 bzw. 40 mg%. Durch Kombination von Insulin und Arbeit sinkt der Blutzuckerspiegel um 40 mg%. Es hat also hier Arbeit ohne Insulin eine Steigerung, Arbeit mit Insulin eine Senkung des Blutzuckers herbeigeführt, und zwar fast auf die Hälfte desjenigen Wertes, der durch Insulin

allein erzielt wurde. Es liegt also, wie Bürger schreibt, ein deutlicher Kombinationseffekt vor, der von Arzt und Patient berücksichtigt werden muß, um hypoglykämische Zustände zu vermeiden.

Falta (24) rät dazu, bei jedem einzelnen Fall festzustellen, um wieviel die Insulindosis bei einer bestimmten körperlichen Leistung reduziert werden muß. Die Einsparung von Insulin durch Muskelarbeit kann nach Faltas Erfahrung sehr bedeutend sein, so daß man z.B. die Injektion vor dem Frühstück ganz weglassen kann, wenn vormittags ein größerer Spaziergang gemacht wird.

Über die gleiche Erfahrung berichtet Katsch (37), wenn er schreibt, daß bei seinen Patienten nach Verordnung von Sport und Gartenarbeit die Insulindosis oft auf den dritten Teil gedenkt werden konnte. Katsch fordert eine genaue Erprobung der zeitlichen Abstände der Insulinspritze zur körperlichen Arbeit, da diese sonst leicht zum Schock führt.

Die Tatsache, daß Körperbewegung, um heilsam zu sein, immer von endogenem oder exogenem Insulin unterstützt werden muß, demonstriert Joslin (36) an mittelschweren und schweren Diabetikern. Wurde diesen morgens vor dem Frühstück und der Verabreichung von Insulin erlaubt, sich körperlich zu betätigen, so stieg der Blutzucker stark an. Wenn dann eine kleine Dosis Insulin verabreicht wurde, erzeugte fortgesetzte Körperbewegung einen Abfall, der tiefer war, als durch das Insulin allein zu erwarten gewesen wäre.

Lawrence (zit. nach 36) fand, daß der insulinwirkungsverbessernde Effekt der Körperbewegung am größten ist während der maximalen Wirksamkeit des Insulins.

Wie Bertram (3,4) schreibt, sind insulinbehandelte Diabetiker bei ungewohnter körperlicher Anstrengung häufig Schockzuständen ausgesetzt, weshalb bei der klinischen Einstellung eine der Berufsarbeit angepaßte Muskelarbeit ausgeübt werden soll. Schwerarbeitern sowie zeitweise körperlich angestrengt arbeitenden Menschen solle man eine höhere Restglykosurie belassen, um Insulinschocks zu verhindern.

Auch Chute (6) warnt vor dem Auftreten einer Insulinreaktion bei einem Diabetiker, der trotz ungewohnter Körperbewegung seine angemessene Insulindosis erhält.

Ebenso weist Wiechmann (57) auf die Gefahr einer eintretenden Hypoglykämie hin, falls ein Zuckerkranker bei Arbeit weder Kohlehydratzufuhr noch Insulinmenge ändert. Bei dem Diabetiker, der kein Insulin benötigt,

wird, wie Wiechmann schreibt, die Kohlehydrattoleranz gesteigert; er ist hinsichtlich der Art und Dauer der Arbeit nicht gebunden.

Die Insulinwirkung kann durch Muskularbeit in nicht vorauszusehender Weise gesteigert werden (27).

Pasargiklian und Ghiringhelli (49) ließen auf Diät und Insulinzufuhr eingestellten Diabetiker in nüchternem Zustand mehrere Stunden arbeiten, ohne ihnen vorher Insulin zu geben. Dabei nahm die Ketonkörperausscheidung deutlich zu, besonders zu Beginn des Versuchs. Der Blutzucker sank während der beiden ersten Arbeitsstunden gleichmäßig ab. Nach zweistündiger Arbeitsdauer injizierten Pasargiklian und Ghiringhelli 15 IE Insulin. Danach kam es zu einer Steigerung der Ketonkörperausscheidung, die jedoch nach einer Stunde unter den Ausgangswert sank; die Senkung des Blutzuckerspiegels eine Stunde nach Insulininjektion betrug über 50 %. Es kommt also, wie die Autoren feststellen, sowohl unter Arbeit wie auch unter Insulinwirkung zu einer Steigerung des Kohlehydratstoffwechsels und einer Abnahme des Fettstoffwechsels.

e) Zusammenfassung

Voraussetzung für eine Senkung des Blutzuckerspiegels durch Muskularbeit ist die Zufuhr von Kohlehydraten (36) (14) und das Vorhandensein von Insulin (36, 7, 38), das bei schweren Diabetikern von außen zugeführt werden muß. Außerdem sind als Grundlage für die therapeutische Verwertung der Muskularbeit ein guter Zustand der Muskulatur, der auch durch Training erreicht werden kann (60, 38, 11), und die Kompensation des Kohlehydratstoffwechsels notwendig (43, 16, 8), die durch Diät und Insulin auch bei schweren Diabetikern zu erreichen ist und so auch diese einer Arbeitstherapie zugänglich macht. Für die Reaktion des Blutzuckerspiegels ist nicht immer die Schwere der Krankheit entscheidend (43, 59, 27, 18), ebenso wenig das Arbeitsmaß (48, 15), sondern eher die individuelle Anstrengung, mit der eine bestimmte Arbeit geleistet wird. Ob trotz hinzukommender Komplikationen eine Arbeitstherapie angewendet werden kann, hängt in erster Linie von dem Zustand des Herzens und des Kreislaufs ab (8, 24). Insulin und Muskularbeit summieren sich in ihrer Wirkung auf den Blutzuckerspiegel (25, 17), oder der Kombinationseffekt ist sogar stärker, als die Summe der Blutzuckersenkungen durch Arbeit und durch Insulin allein angibt (18).

2. Der Einfluß der Muskularbeit auf den Kohlehydratstoffwechsel des Gesunden

geordnet nach:

a) Arbeitsdauer

Weiland (56) untersuchte als erster den Blutzucker gesunder Versuchspersonen nach bis zur Ermüdung durchgeführter Muskularbeit und wies - mit einer Ausnahme - bei allen Probanden eine Senkung nach.

Auch Zachariae (59) ließ seine Versuchspersonen bis zur Ermüdung arbeiten, fand jedoch nicht in allen Fällen eine Blutzuckersenkung.

Bei den Arbeitsversuchen, die Lichtwitz (43) mit gesunden Versuchspersonen ausführte, sank der Blutzuckerspiegel nach ermüdender Körperbewegung im allgemeinen ab, in zwei Fällen allerdings erst 50 bis 60 Minuten nach Arbeitsende.

Die Probanden, die Bürger (14) zu seinen Untersuchungen über die Wirkung der Muskularbeit auf den Kohlehydratstoffwechsel des Gesunden heranzog, arbeiteten durchschnittlich 122 Minuten und vollbrachten eine Leistung von 24 000 kgm, die also, wie Bürger betont, nicht besonders groß war. Sie hatten vor dem Versuch mindestens 12 Stunden lang keine Nahrung zu sich genommen. Bei allen Versuchspersonen - mit zwei Ausnahmen, in denen die Blutzuckeruntersuchungen nicht mehrere Stunden lang fortgesetzt werden konnten - fand sich nach der Arbeit ein mehr oder weniger großer Blutzuckerverlust, der aber erst 3 bis 4 Stunden nach ihrer Beendigung das größte Ausmaß erreichte, während unmittelbar nach Arbeitsabschluß in einigen Fällen eine Hyperglykämie vorhanden war. Eine quantitative Beziehung zwischen Arbeitsleistung und dem Grad der Hypoglykämie ließ sich nicht ableiten; in einem Fall allerdings führte Bürger das Ausbleiben einer Blutzuckersenkung auf die geringe Masse der in Tätigkeit getretenen Muskulatur zurück. Diese quantitative Beziehung war, wie Bürger betont, auch nicht zu erwarten, da der Glykogenvorrat bei den einzelnen Individuen stark schwankt und die Glykogenmobilisation ungleich prompt erfolgen kann.

Edwards, Richards und Dill (21) untersuchten den Blutzucker von Studenten vor und nach Arbeitsversuchen im Laboratorium und auf dem Sportplatz. Nach einem Lauf auf der Tretmühle, der 14 Minuten dauerte, sank der Blutzucker der Probanden - abgesehen von einer Ausnahme, bei der ein starker Anstieg zu verzeichnen war - leicht ab, oder stieg doch nur ganz geringfügig an. Bei Muskularbeit von mehr als 15 Minuten Dauer,

die im Laboratorium ausgeführt wurde, sank der Blutzuckerspiegel durchweg ab, und zwar um so tiefer, je länger die Arbeit dauerte.

Bei einem Fußballspiel zeigten die Versuchspersonen jedoch einen starken Blutzuckeranstieg, den die Autoren nicht durch die kohlehydratreiche Diät der Spieler und die Glukosegabe vor dem Spiel bedingt glauben, da auch Ersatzmänner, die weder Diät noch Glukosegaben erhalten hatten, die gleiche Hyperglykämie aufwiesen. Die Autoren räumen jedoch ein, daß die reichliche Kohlehydratzufuhr einer Arbeitshypoglykämie entgegenwirke. Edwards, Richards und Dill nehmen an, daß diese Blutzuckersteigerung nach längerer muskulärer Anstrengung auf dem Sportplatz - im Gegensatz zu der Blutzuckersenkung nach Arbeit im Laboratorium - auf die psychische Erregung der Spieler durch die Gegenwart der Zuschauer zurückzuführen ist.

Bei Vergleichen von Blut- und Harnzuckerwerten stellte sich heraus, daß beide in mehreren Fällen einander nicht entsprachen. Einige Versuchspersonen hatten eine Glykosurie bei normalem Blutzucker, woraus die Autoren schließen, daß sie während des Spiels durch eine Phase der Hyperglykämie hindurchgegangen sind; eine andere Versuchsperson war bei erheblicher Hyperglykämie aglykosurisch. Im Gegensatz zu diesem Ergebnis gingen bei den Versuchen von Thannhausen und Pfitzer (54) über experimentelle Hyperglykämie beim gesunden Menschen Blutzuckerwerte und Glykosurie einander parallel.

b) Anstrengung

Bürger (14) weist auf die verschiedenen große Anstrengung bei gleicher Gesamtleistung und gleicher Leistung pro Körperkilogramm und Stunde hin. Die unter Anstrengung geleistete Mehrarbeit ist einer Messung unzugänglich. Schon eine erhebliche Pulsbeschleunigung bedingt eine bedeutende Mehrarbeit gegenüber einer Versuchsperson, die die gleiche Arbeit ohne Pulsbeschleunigung durchführt. Allein aus der Berücksichtigung solcher Verhältnisse erklären sich, wie Bürger schreibt, schon manche Unterschiede im Verhalten des Blutzuckers bei verschiedenen Personen, die die gleiche Arbeit geleistet haben.

Auch Deutsch und Weiß (20) stellen fest, daß bei von ihnen untersuchten Sportlern die individuelle Anstrengung, mit der eine Leistung vollbracht wird, bei der Reaktion des Blutzuckerspiegels eine entscheidende Rolle spielt. Die Probanden waren während der sportlichen Leistung vollkommen nüchtern.

Nach kurzer und intensiver Arbeitsleistung von wenigen Minuten fand sich in allen Fällen eine Arbeitshyperglykämie, die um so höher lag, je größer die Anstrengung war, mit der die Läufer liefen, und je größer die Ermüdung war, mit der sie ans Ziel gelangten. Nach einer langwierigen Leistung von mehreren Stunden (Marathonlauf) fanden Deutsch und Weiß dagegen eine Hypoglykämie, die wiederum um so tiefer lag, je angestrongter die Läufer liefen, das heißt, je mehr Hilfsmuskeln sie zur Bewältigung der Leistung heranzogen, und je später sie das Ziel erreichten. Der Verlust an Blutzucker ging also der Anstrengung proportional. Daraus entnehmen Deutsch und Weiß, daß der jeweilige Blutzuckerwert das Spiegelbild der Arbeitsökonomie und Leistungsfähigkeit des betreffenden Individuums ist.

c) Trainingszustand der Versuchspersonen

Zachariae (59) berichtet von einem körperlich sehr gut trainierten Probanden, der im Gegensatz zu den meisten anderen Versuchspersonen nach ermüdender Arbeit eine Blutzuckererhöhung aufwies. Nach einer ungewöhnlichen Muskelleistung fand Lichtwitz (43) dagegen bei einer gut trainierten Versuchsperson einen normalen Blutzuckerwert, während die übrigen ungeübten Probanden eine Blutzuckersenkung nach ermüdender Muskularbeit aufwiesen.

Bei trainierten Sportsleuten stellten Burger und Martens (19) nach etwa einstündigen körperlichen Übungen in vier Fällen keine wesentliche Änderung des Blutzuckerspiegels fest; eine Versuchsperson wies eine leichte Erhöhung auf. Zwei der Versuchspersonen zeigten jedoch eine erhebliche Hypoglykämie, davon eine nach 50 Minuten langem Fechten; dies ist, wie Burger und Martens betonen, besonders bemerkenswert, da man hier unter dem Einfluß emotioneller Reize eher eine Hyperglykämie erwarten würde.

Meythaler und Droste (46) beobachten das Verhalten des Blutzuckerspiegels bei trainierten und untrainierten Studenten, die kurze, mittlere und langdauernde sportliche Leistungen vollbrachten. Bei Leistungen, die nur wenige Sekunden dauerten, lag der Blutzucker bei Trainierten und Untrainierten kurzfristig an und fiel dann langsam wieder ab, bei den geübten Versuchspersonen mit Tendenz zu subnormalen Werten, bei den ungeübten etwas verzögert. Erfolgt mehrere kurze und maximale Leistungen hintereinander, so trat bei Trainierten und Untrainierten eine Hyperglykämie auf, bei letzteren in besonders hohem Grade. Bei Mittel-

streckenleistungen stieg der Blutzucker allgemein stark an, fiel jedoch bei trainierten Versuchspersonen in der Erholungsphase sofort ab, während bei untrainierten die Blutzuckerhöhe wieder zunahm. Die Reaktion des Blutzuckers beim 10 000 m-Lauf ließ den Unterschied in der Blutzuckerregulation bei trainierten und untrainierten Versuchspersonen besonders gut erkennen. Bei trainierten Sportsleuten steigt der Blutzucker während der Leistung langsam geringfügig an, ist sofort nach Beendigung des Laufes einige Milligrammprozent über dem Ausgangswert und kehrt dann langsam zur Norm zurück. Weit größer ist der Blutzuckeranstieg beim Untrainierten und fällt langsam wieder zum Ausgangswert.

Der für eine gute sportliche Leistung charakteristische Kohlehydratumsatz zeigt sich nach Meythaler und Droste immer in geringem Anstieg der Blutzuckerkurve während und in langsamem ruhigem Abfall nach der Muskelarbeit unter Vermeidung nennenswerter Schwankungen. Ein Abfall des Blutzuckerspiegels unter die Norm während oder nach sportlichen Leistungen ist, wie die Autoren schreiben, immer als Zeichen der Ermüdung oder Leistungsunfähigkeit aufzufassen.

Der gleichen Erkenntnis geben Deutsch und Weiß (20) Ausdruck, wenn sie schreiben, das Verhalten des Blutzuckers sei das Spiegelbild der Arbeitsökonomie.

d) Änderung des Kohlehydratassimilationsvermögens

Breul (12) stellte als erster fest, daß man eine beim Gesunden durch hohe Kohlehydratzufuhr hervorgerufene Hyperglykämie bzw. Glykosurie durch angestrengte Körperbewegung wie Treppen- oder Bergsteigen unterdrücken kann. Er schloß daraus, daß das Kohlehydratassimilationsvermögen des gesunden Organismus durch Muskelarbeit erheblich gesteigert wird.

Bürger (16) prüfte die Wirkung der Muskelarbeit auf die artifizielle Hyperglykämie und Glykosurie beim stoffwechselgesunden Menschen, indem er seinen Versuchspersonen Glukose injizierte. Die Probanden befanden sich einmal in völliger Ruhe, einmal hatten sie zuvor körperliche Arbeit von 30 000 bis 40 000 kgm geleistet. Im Ruheversuch erschienen 5 bis 10 % der injizierten Glukose im Harn wieder. Nach vorangehender Arbeitsleistung wurde nur die Hälfte oder noch weniger Zucker im Harn ausgeschieden. Nach Glykogenverarmung der Leber durch dreitägige kohlehydratfreie Kost und einen Hungertag trat auf den Arbeitsreiz hin, der den glykogenarmen Körper traf, eine starke vorübergehende Arbeitshyperglykämie auf. Durch langsames Einlaufenlassen der Zuckerlösung konnte

Bürger den Harn nach vorausgegangener Arbeit zuckerfrei halten, während im Ruheversuch geringe Mengen ausgeschieden wurden.

Trotz verringerter Harnzuckergesamtausscheidung beim Arbeitsversuch fand Bürger in 6 von 14 Fällen infolge der primären Arbeitshyperglykämie einen wesentlich höheren Kurvengipfel des Blutzuckers als in Ruhe. Der injizierte Zucker verschwand hingegen nach Arbeit viel schneller als im Ruheversuch.

Nach oraler Glukosegabe nahm Staub (53) bei seinen Versuchspersonen je eine Ruhe- und eine Arbeitsblutzuckerkurve auf.

Während kräftiger ermüdender Muskelarbeit, die gleich nach der Glukose-einnahme begann, zeigte die Blutzuckerkurve in den ersten 30 bis 45 Minuten den gleichen Verlauf wie die entsprechende Ruhekurve. Danach fiel die Arbeitskurve steil ab und erreichte ihren tiefsten Punkt, während sich die Ruhekurve noch auf höchsten oder sehr hohen Werten befand. Nach beendeter Arbeit stieg die Blutzuckerkurve etwas an und verlief dann auf dem Niveau des vorher erreichten Tiefpunktes.

Bei genügendem Glykogenbestand beeinflußt geringe, nicht ermüdende Arbeit nach Staubs Erfahrung die Blutzuckerhöhe überhaupt nicht, während nach vorangehender langer Karenz schon ganz leichte Arbeit den Blutzucker-gehalt absinken läßt.

Erhielten die Versuchspersonen eine Glukosegabe im Anschluß an erschöpfende Muskelarbeit, so fand Staub einen höheren Anstieg des Blutzuckers und längeres Verweilen auf hyperglykämischen Werten als bei einer entsprechenden Ruhekurve - nach Staub ein Zeichen verminderter Zuckerassimilationsfähigkeit nach Glykogenreduktion des Organismus durch erschöpfende Muskelarbeit.

Weiter fand sich eine herabgesetzte Zuckerassimilationsfähigkeit nach 15 oder mehrstündigem Fasten und nach mehrtägiger Kohlehydratkarenz bei Eiweiß-Fett-Diät.

e) Zusammenfassung

Im allgemeinen tritt nach intensiver Muskelbewegung bei gesunden Versuchspersonen eine Senkung des Blutzuckers auf (56, 59, 43, 14), die allerdings in vielen Fällen erst eine oder mehrere Stunden nach Arbeitsabschluß deutlich wird (43, 14). Und zwar sinkt der Blutzucker umso tiefer, je länger die Arbeit andauert (21, 20). Die Reaktion des Blutzuckers auf Muskelarbeit wird jedoch beeinflußt durch den Trainingszustand der

betreffenden Versuchsperson, durch die vorhergehende Diät und durch den psychischen Erregungszustand während der körperlichen Leistung. Der Arbeit vorangehende Kohlehydratzufuhr wirkt einer Blutzuckersenkung entgegen (21, 16). Hungerzustand oder mehrtätige Kohlehydratkarenz (16, 53) sowie psychische Aufregung (21, 19) fördern eine besonders starke Arbeitshyperglykämie. Ein guter Trainingszustand der Muskulatur zeigt sich in geringen Blutzuckerschwankungen bei und nach Muskelarbeit (43, 20, 19).

Die Zuckerassimilationsfähigkeit ist während körperlicher Arbeit erhöht (53), nach Arbeit jedoch herabgesetzt (53), anderen Erfahrungen zufolge aber ebenfalls gesteigert (16).

3. Ergebnisse der tierexperimentellen Forschung

Bürger (16) injizierte einem Hund Dextrose. Es zeigte sich, daß der respiratorische Quotient nach vorangehenden Hungertagen und Muskelarbeit auf einer Tretbahn weit weniger hoch anstieg als bei einem normal ernährten und ausgeruhten Versuchstier. Offenbar, so schließt Bürger, wirken die durch Arbeit ermüdeten Muskeln durch Glykogenspeicherung einer luxurierenden Zuckerverbrennung, wie sie durch einen hohen respiratorischen Quotienten angedeutet wird, entgegen.

Ingle und Nezamis (30) ließen eviszerierte Ratten, deren Hinterbeine sie mit Gewichten belasteten, durch elektrische Muskelreizung Arbeit verrichten, während ihnen Glukose und teilweise auch Insulin infundiert wurde. Schon durch Arbeit allein - ohne Insulinzufuhr - wurde die Glukosetoleranz enorm gesteigert. Daraus folgern Ingle und Nezamis, daß Muskelkontraktionen eine bessere Ausnützung der Glukose bewirken, ohne jede Änderung des Insulingehaltes der Körperflüssigkeit und obwohl die Versuchstiere unter Insulinmangel litten, da das Pankreas bei der Eviszeration entfernt worden war. Kombination von Insulin und Muskelarbeit ergab eine Summation der Wirkung auf die Glukosetoleranz.

Weitere Versuche von Ingle (29) bestätigten seine Erfahrung, daß Muskelarbeit die Geschwindigkeit, mit der das Versuchstier Glukose aus dem Blut beseitigt, erhöht, und daß die eviszerierte Ratte ohne Zufuhr von Insulin Glukose verwerten kann, obwohl sie kein Pankreas besitzt und bei diesen Versuchen auch Leber und Niere nicht mehr vorhanden waren.

Ingle, Nezamis und Rice (32) machten Arbeitsversuche mit normalen Ratten und mit solchen, die durch Entfernung des Pankreas schwer zuckerkrank waren. Den Versuchstieren wurde weder Glukose noch Insulin zugeführt. Von den normalen Ratten starben viele innerhalb weniger Stunden nach Arbeitsbeginn an hypoglykämischen Krämpfen. Auch bei den diabetischen Ratten fiel der Blutzucker während der Muskelreizung stark ab; ihre Blutzuckerwerte und ihre durchschnittliche Gesamtleistung lagen aber höher als bei den normalen Ratten. Die Höhe des Blutzuckers entsprach dabei direkt den Harnzuckerwerten. Die Autoren betonen, daß bei der Ratte schwerer Insulinmangel offenbar mit kräftigen Muskelkontraktionen vereinbar ist und daß der sich kontrahierende Muskel Glukose ohne die Gegenwart von Insulin zu Energiezwecken verwerten kann.

Bei Versuchen von Ingle, Nezamis und Morley (31) wurde die Glukosetoleranz normaler Ratten durch Muskelreizung nahezu auf das Doppelte erhöht. Während des letzten Drittels der Versuchsdauer nahm die Glukosetoleranz weiterhin auffallend zu. Deshalb nehmen die Autoren an, daß eine Anpassung an die Glukoseinfusion eintrat, ähnlich der Anpassung normaler Ratten an die zwangsweise Fütterung mit hoher Kohlehydratdiät.

Weitere Versuche unternahmen Ingle, Nezamis und Morley (33) an schwer diabetischen Ratten, die entweder nur Insulin erhielten, oder nur Muskularbeit leisteten oder während der Muskelreizung auch Insulininfusionen bekamen. Der Blutzucker sank bei sämtlichen Versuchstieren ab, am meisten bei den Ratten, bei denen Muskelreizung und Insulingaben kombiniert wurden. Wurde den arbeitenden Ratten Insulin zugeführt, so sank die Arbeitsleistung um mehr als 50 %. Daher sind die Autoren der Ansicht, daß die durch Insulin angeregten Prozesse der Glukoseverwertung mit dem arbeitenden Muskel bezüglich der verfügbaren Glukose rivalisieren und daß Glukose auch von diabetischen sich kontrahierenden Muskeln gut verwertet werden kann.

Ratten, bei denen das Nebennierenmark entfernt worden war, vollbrachten bei Versuchen von Ingle, Nezamis und Morley (34) unter Glukosezufuhr geringere Arbeitsleistungen als nicht adrenaletomierte Versuchstiere.

Britton (13) fand, daß adrenaletomierte Katzen unfähig sind, Glykogen zu mobilisieren, so daß nach psychischer Erregung und geringer Muskelbewegung eine lang anhaltende Hypoglykämie auftrat.

Goldstein, Mullik, Huddleston und Levine (26) kommen anhand ihrer Versuche zu der Feststellung, daß offenbar Muskularbeit in ähnlicher

Weise wie Insulin die Übertragung bestimmter Zuckerarten aus der extrazellulären Flüssigkeit in das Zellinnere befördert - unabhängig von der Verwertbarkeit dieser Zucker im Stoffwechsel. Dieser fördernde Einfluß der Muskularbeit auf die Übertragung von Zuckern über die Zelloberflächenbarrieren kommt nach Annahme der Autoren durch ein humorales Produkt der sich kontrahierenden Muskulatur zustande. Goldstein und Mitarbeiter heben besonders die Tatsache hervor, daß diese Wirkung der Muskularbeit unabhängig ist von der Anwesenheit des Insulins, da sie am pankreatektomierten insulinfreien Tier gezeigt werden konnte.

Zusammenfassung:

Auch bei Tieren - normalen wie diabetischen - wird der Blutzuckerspiegel durch anhaltende Muskelkontraktionen gesenkt (30, 29, 32). Für diese Senkung des Blutzuckers durch Muskularbeit ist Insulin nicht erforderlich, und hochgradiger Insulinmangel ist mit kräftigen Muskelkontraktionen vereinbar (30, 29, 32, 33), so daß offenbar Glukose auch vom schwer diabetischen Muskel zu Energiezwecken verwertet werden kann. Das Nebennierenmark ist zur Glykogenmobilisation bei Muskularbeit notwendig (13).

Muskularbeit fördert den Übergang von Zucker aus der Extrazellulärflüssigkeit in das Innere der Zellen - unabhängig von seiner Verwertbarkeit in diesen.

4. Übersicht der Theorien

Bereits Zimmer (60) - zu dessen Zeit noch allgemein angenommen wurde, daß die Entstehung des Diabetes mellitus auf einer geschädigten Leberfunktion beruhe - erklärte die Besserung der Stoffwechsellage seiner diabetischen Patienten nach körperlicher Betätigung damit, daß die Muskeln fähig seien, während ihrer Tätigkeit Zucker zu zerstören und den Zucker bei Muskelruhe durch Glykogenaufbau festzuhalten. Durch Muskularbeit wird, so schreibt Zimmer, der Andrang des Blutes von den Bauchorganen abgeleitet und den Muskeln zugeführt. Dadurch stürzt die größte Summe des Zuckers zu den Muskeln, so daß sich der Zuckerumsatz im Muskel während der Arbeit enorm erhöht. Den in manchen Fällen ausbleibenden Erfolg der Muskularbeit selbst bei leichten Diabetikern begründet Zimmer damit, daß "die Funktion der Muskeln in Bezug auf die Zerstörung von Zucker in

pathologischer Weise alteriert" ist. Der gesunde Muskel setzt, wie Zimmer annimmt, bei der Arbeit Zucker in Milchsäure um, die unter Aufnahme von Sauerstoff in Kohlensäure und Wasser zerfällt.

Auch Naunyn (47) nimmt an, daß der Abbau des Glykogens im arbeitenden Muskel unter Milchsäurebildung vor sich geht, da bei Muskeltätigkeit Glykogen verbraucht wird, während Milchsäure auftritt. Für sicher hält Naunyn wie auch v. Mering, daß in den Muskeln während ihrer Tätigkeit reichlich Oxydation von Kohlehydraten stattfindet.

Der Blutzuckergehalt hängt nach Weiland (56) und Lichtwitz (43) von der Geschwindigkeit des Glykogenaufbaus aus dem Blutzucker in der Muskulatur und derjenigen der Glykogenolyse in der Leber ab. Darin bestehen nach der Meinung von Lichtwitz individuelle Verschiedenheiten; der prompte Ersatz des bei der Arbeit verbrauchten Muskelglykogens durch den aus dem Leberdepot gespeisten Blutzucker ist nach Lichtwitz durch Übung zu beeinflussen, (Die Blutmilchsäure steigt in analoger Weise nach Muskularbeit beim Geübtwerden nur wenig, während sie bei untrainierten Versuchspersonen, besonders aber bei Diabetikern, stark zunahm, wie Lichtwitz bei seinen Versuchen feststellte). Als Ursache für das Absinken des Blutzuckers nach Arbeit nimmt Bürger (14) an, daß die nach dem plötzlichen starken KH-Verbrauch des Muskels einsetzende Glykogenregeneration dem Blut den Zucker entzieht. Wenn dann die Glykogenolyse in der Leber nicht Schritt hält mit dem Abfluß des Zuckers aus dem Blut, ergibt sich daraus die Arbeitshypoglykämie. In einigen Fällen beobachtete Bürger bei gesunden Versuchspersonen einige Stunden nach Arbeitsabschluß einen Wiederanstieg des Blutzuckers. Wo dieser auftrat, spricht er, wie Bürger betont, gegen die Auffassung, daß eine Erschöpfung des Leberglykogenvorrats die Ursache der Arbeitshypoglykämie sei. Die bei manchen gesunden Versuchspersonen nach Arbeit festgestellt initiale Blutzuckersteigerung bezeichnet Bürger als physiologisch. Er nimmt an, daß auf nervöse Vermittlung hin "akute Anforderungen an die Energiequellen des Organismus mit einer Ausschüttung eines rasch mobilisierbaren KH-Vorrats aus der Leber" beantwortet werde. Die Folge wäre eine anfängliche mehr oder weniger deutliche Arbeitshypoglykämie. Lichtwitz sah die gleiche Erscheinung bei Diabetikern und deutete sie als Folge einer pathologisch gesteigerten Erregbarkeit der Glykogenolyse.

Bürger (15) unterscheidet zwischen einer primären Arbeitshyperglykämie, für die der durch "Anstrengung" gesetzte Arbeitsreiz als auslösendes Moment entscheidend ist, und einer sekundären oder Transporthyperglykämie, die

erst zu erwarten sei, wenn nach erheblicher Leistung ein merklicher Materialverbrauch in den Muskeln eingesetzt hat.

Bürger weist darauf hin, daß bei erheblicher Hyperglykämie der Harn zuckerfrei sein kann. Die Vorstellung eines dichterwerdenden Nierenfilters als Erklärung dafür, daß die Nieren, die eben noch erhebliche Zuckermengen passieren ließen, später bei dauernd erhöhtem Blutzuckerspiegel einen zuckerfreien Harn absondern, ist nach Bürgers Ansicht jedoch nicht mit der akut einsetzenden aglykosurischen Arbeitshyperglykämie vereinbar. Zu ihrer Erklärung nimmt Bürger folgendes an: "Der Arbeitsreiz führt beim Diabetiker zur überstürzten Glykogenmobilisation und raschen Entleerung der Glykogendepots in der Leber. Als Folge der Glykogenverarmung der Leber wird auf nervösem Wege - entweder über das Zuckerzentrum und die Bahn des Splanchnicus oder direkt - der Niere ein Reiz zugeleitet, der sie im Sinn einer Zuckerdichtung beeinflußt". So wird bei erhöhtem Zuckerbedarf des Organismus und Erschöpfung seiner Depots gewissermaßen reflektorisch einem Zuckerverlust durch die Nieren entgegengewirkt.

Das Auftreten einer starken Arbeitshyperglykämie beim unbehandelten Diabetiker ist nach Bürger durch eine schlechte Glykogenfixation oder eine abnorm leichte Glykogenolyse in der Leber bedingt. Der Arbeitsreiz - der Leber auf nervösem Wege zugeleitet - sei umso intensiver, je ungewohnter die Arbeit, je geringer die Übung ist. Dadurch sei es auch zu erklären, daß bei öfterer Wiederholung der Arbeitsversuche die Hyperglykämie geringer ausfällt. Die beim diätetisch vorbehandelten Diabetiker nach Arbeit auftretende Blutzuckersenkung ist nach Bürger so besonders groß, weil dieser über einen geringeren Glykogenvorrat verfügt, als der Gesunde. Im übrigen sei eine stark positive Arbeitsreaktion für den Diabetes pathognomisch und als spezifisches Symptom zu werten. Den Hauptangriffsort des Insulins sieht Bürger (17) in der Muskulatur.

Grafe und Salomon (28) nehmen als Ursache der von ihnen beobachteten stärkeren Arbeitshyperglykämie des Diabetikers ebenso wie Bürger eine schlechtere Glykogenfixation oder, als noch wahrscheinlicher, eine abnorm leichte Glykogenolyse des Diabetikers im Gegensatz zum Gesunden an. Da bei den von Grafe und Salomon angestellten Arbeitsversuchen ein Diabetiker aglykosurisch wurde, ohne daß respiratorisch eine Verbrennung von Kohlehydraten nachweisbar war, schließen die Autoren, daß hier während der Arbeit eine Glykogenbildung stattgefunden hat.

Ob nach Muskulararbeit ein hypoglykämisches Stadium auftritt oder nicht, das hängt, wie Staub (55) schreibt, neben der Größe der Arbeitsleistung

vom Glykogenbestand der Versuchsperson vor Arbeitsbeginn ab. Erst wird nach Staub während der Arbeit das Muskelglykogen zur Deckung des Energiebedarfs herangezogen. Ist dieses erschöpft, so wird der zur Arbeit benötigte Zucker aus dem vorbeiströmenden Blut entnommen, und die Glykämie sinkt ab.

Das Sinken des Blutzuckers während der Arbeit auf hypoglykämische Werte sieht Staub als Ausdruck einer momentanen Insuffizienz der Leber in ihrer Funktion als Regulator des Blutzuckerspiegels an. Sie vermag, so schreibt Staub, den Blutzuckerverbrauch der Muskulatur durch Abgabe von Glykogen anfänglich nur ungenügend zu folgen; erst bei weiterer Arbeitsdauer paßt sich die Leber bei genügendem Glykogenvorrat dem gesteigerten Verbrauch an, und es stellt sich ein Gleichgewicht ein zwischen dem Verbrauch der Kohlehydrate und ihrem Zustrom aus der Leber. Den nach Arbeitsende bei gesunden Versuchspersonen beobachteten kurzen Blutzuckeranstieg deutet Staub als überschießende Glykogenmobilisation aus der Leber und erblickt darin den Beweis, daß während der Muskelarbeit tatsächlich ein Transport von Glukose aus dem Leberdepot zu den Muskeln stattfindet.

Auch Bürger und Kramer (18) sehen den Grund für die beim Gesunden beobachtete initiale Arbeitshyperglykämie in einer Glykogenausschüttung aus der Leber, die auf einen nervösen Reiz hin erfolgt. Während diese jedoch bald wieder absinkt, zeigt der Diabetiker eine die Arbeit um Stunden überdauernde Reizhyperglykämie, die Bürger und Kramer als Zeichen einer Übererregbarkeit der den KH-Haushalt regulierenden Nervenapparate ansehen. Nach diätetischer Vorbehandlung sinkt jedoch beim Diabetiker wie beim Gesunden der Blutzuckerspiegel nach Aussetzen der Arbeit immer mehr ab, was nach Bürger und Kramer nur durch eine Fixation des Blutzuckers in der vorher mehr oder weniger beanspruchten Muskulatur zu erklären ist.

Einen Hauptgrund für die erhebliche Verstärkung der Blutzuckersenkung bei Gesunden und Diabetikern durch die Kombination von Arbeit und Insulin sehen Bürger und Kramer in der Wirkung der Muskelarbeit auf den Durchströmungseffekt der Kapillargebiete. Sie weisen auf Versuchsergebnisse von Krogh hin, nach denen sich die Zahl der in Ruhe durchbluteten Kapillaren zu der Zahl der im arbeitenden Muskel geöffneten Kapillaren wie 1 : 25 verhält. Also findet, wie Bürger und Kramer schreiben, das Insulin, das dem Körper bei Muskelarbeit angeboten wird, eine gewaltig vergrößerte Rieselfläche vor, und kann hier am Ort seiner Wirkung viel tiefer und rascher in den KH-Stoffwechsel eingreifen als bei Muskelruhe, wo ihr der Zugang zum Hauptort des Zuckerumsatzes mehr oder weniger versperrt ist.

Diese Erklärung nehmen auch Brauch und Schulz (zit.nach (7)) für die Steigerung der Insulinempfindlichkeit durch Muskelarbeit an. Bürger und Kramer betonen, daß der von ihnen gefundene Kombinationseffekt von Insulin und Muskelarbeit nicht als eine Summationswirkung von endogenem infolge Arbeitswirkung mehrproduziertem Insulin und exogen zugeführtem Insulin anzusehen ist, da Muskelarbeit allein nicht in der Lage sei, durch einen trophischen Reflex eine Insulinmehrproduktion von solchem Ausmaß herbeizuführen, daß sie die Arbeitsreizhyperglykämie kompensieren könnte.

Im Gegensatz zu Bürger und Kramer schreiben Gerl und Hofmann (25) zu der Frage, wie es beim Diabetiker zu einer Verminderung des Insulinbedarfs nach Muskelarbeit kommt, wenn man der Aviditätstheorie Faltas entsprechend auf dem Standpunkt stehe, daß eine Aufnahme von Zucker durch die Zellen ohne Insulin nicht möglich ist, so müsse man erwarten, daß bei Muskelarbeit mehr Insulin produziert wird. Als Ausdruck dieser Insulinmehrproduktion - und zwar einer leicht überschließenden - fassen Gerl und Hofmann den zweiten, hypoglykämischen Teil der Arbeitsblutzuckercurve auf. Längerdauerndes Training läßt nach den Erfahrungen von Gerl und Hofmann die Schwankungen der Blutzuckercurve immer geringer werden, was die Autoren auf eine "Bahnung im Zuckerstoffwechsel", d.h. eine zunehmende Übung des Inselorgans, immer rascher und prompter zu reagieren, zurückführen. Gerl und Hofmann nehmen an, daß neben Zucker auch Fett, und zwar auf direktem Wege - nicht über eine Umwandlung in Kohlehydrate - als Energiespender herangezogen wird, um so mehr, je länger die Arbeit dauert und je geringer die Glykogendepots sind.

Deutsch und Weiß (20) erklären die von ihnen beim Gesunden nach kurzer und intensiver Muskelarbeit gefundene Hyperglykämie, die umso höher lag, je größer die persönliche Anstrengung und die Ermüdung waren, durch die Glykogenolyse in der Leber und in den sich bei der Arbeit kontrahierenden Muskeln. Nach Deutsch und Weiß wird die Leber durch einen psychischen Erregungsreiz auf inkretorischem Wege - über Schilddrüse und Nebenniere - sowie einen zentralnervösen chemischen Reiz, durch die aus dem KH-Abbau entstehende Milchsäure zustande kommend, veranlaßt Glukose zum Ersatz der bei der Arbeit verbrauchten Kohlehydrate bereitzustellen.

Edwards, Richards und Dill (21) schreiben der psychischen Erregung einen starken Einfluß auf die Blutzuckerschwankungen bei Muskelarbeit zu,

da sie bei Arbeitsversuchen im Laboratorium nur geringe Änderungen des Blutzuckerspiegels, nach einem Fußballspiel jedoch einen starken Anstieg fanden, den sie auf die Erregung der Spieler durch die Gegenwart der Zuschauer zurückführen.

Auch Peters und Van Slyke (50) weisen auf den blutzuckersteigernden Einfluß der psychischen Erregung hin.

Hinsichtlich der günstigen Wirkung der Muskularbeit auf den diabetischen Organismus schreibt Brauch (8), die Muskularbeit vertrage sich mit dem Schonungsprinzip der Diätbehandlung, da der arbeitende Muskel mehr Zucker verbraucht, und daher weniger Pankreashormon zur Dämpfung des Glykogenabbaus erforderlich ist.

Van Noorden (48) hält es für unwahrscheinlich, daß Muskularbeit an der Zuckeroxydation im diabetischen Muskel etwas ändert. Die Wirkung der Muskularbeit sei jedoch funktionell verständlich, wenn man die Ursache der Beeinflussung in dem jeweiligen Erregungszustand des Glykogenabbaus in der Leber suche.

Da die Muskulatur zur Arbeit viel Zucker benötigt, muß, wie Van Noorden schreibt, zu diesem Zweck Glykogen zerstört werden. Demgemäß brauche das Pankreas während Muskularbeit weniger Hormon zur Dämpfung des Glykogenabbaus zu liefern. Also wirkt Muskularbeit, wie V. Noorden in Übereinstimmung mit Brauch folgert, schonend auf das Inselsystem. Die bei insulinbehandelten Diabetikern nach Muskularbeit vorkommenden hypoglykämischen Zustände kommen nach v. Noorden dadurch zustande, daß das zugeführte Insulin den Glykogenabbau derartig blockiert, daß zwar für ruhiges Verhalten noch genügend "Muskelspeise" geliefert wird, aber zu wenig, um die Entnahme von Zucker aus dem Blut durch arbeitende Muskeln auszugleichen.

Wie v. Bergmann (2) schreibt, wird der im diabetischen Muskel erschwerte Glykogenaufbau dadurch gefördert, daß das Gefälle zwischen der Zuckerkonzentration in den Kapillaren und dem KH-Gehalt der Muskelzelle erhöht wird, was sowohl durch die Erhöhung des Zuckerspiegels im Blut als auch durch Verminderung des Glykogens in der Muskelzelle geschehen kann. Die Glykogenverarmung der Muskelzelle wird jedoch neben Hunger durch Arbeit bewirkt. Durch diese Verschiebung im Verhältnis Traubenzucker im Blut Glykogen im Muskel wirkt nach v. Bergmann die Muskularbeit günstig auf die Bilanz des Diabetikers ein,

Brentano (II) nimmt wie Bürger (15) und Grafe und Salomon (28) an, daß bei der diabetischen Stoffwechselstörung ein abnorm leichter Glykogenzerfall und ein erschwerter Glykogenaufbau in der Muskulatur herrscht. Brentano weist wie v. Bergmann darauf hin, daß durch Muskularbeit die Massendifferenz zwischen Blutzucker einerseits und Glykogengehalt der Zelle andererseits vergrößert und dadurch die Umwandlung des vorher nicht verwertbaren, Blut und Gewebe überschwemmenden Zuckers in Glykogen wieder möglich wird. Eine weitere Leistung der Muskulatur ist, wie Brentano annimmt, die Verwertung der in der Leber gebildeten Azetonkörper. Zur Azetonurie kommt es nach Brentano durch eine Abbaustörung, die die weitere Verwertung der Azetonkörper in der Muskulatur verhindert. Bei Glykogenverarmung der Skelettmuskulatur läßt sich, wie Brentano schreibt, eine gesteigerte Ketonbildung nachweisen, die, da die Ketonkörper Übergangsstoffe bei der Umwandlung von Fett zu Kohlehydraten sind, als Versuch des Organismus gedeutet werden müssen, das mangelnde Glykogen im Muskel durch Fett zu ersetzen.

Insulin bewirkt nach Meinung Brentanos einen verstärkten Glykogenverbrauch in der Zelle, ebenso wie Muskularbeit. In das so erzeugte Glykogenvakuum komme es zu einem sekundären Einstromen von Zucker und dadurch zu einer Steigerung des Blutzuckerspiegels.

Nach Ergebnissen Brentanos (10) deutet eine Kreatinurie ebenso wie eine Azetonurie stets einen Glykogenschwund in der Muskulatur an, da immer beide miteinander einhergehen. Die Kreatinurie ist, wie Brentano schreibt, nicht, wie man bisher glaubte, durch die Leber, sondern ausschließlich durch Verhältnisse in der Skelettmuskulatur bedingt. Die Vermehrung der Ketonkörper beruht nach Brentano entweder auf einer gesteigerten Bildung durch die Leber oder auf einer gestörten Beseitigung in der Muskulatur. Insulin, so schreibt Brentano, fördert die Ketonkörperbeseitigung - wahrscheinlich durch ihre Verbrennung - Adrenalin dagegen hindert die Muskulatur, Kohlehydrate in normaler Weise zu verwerten und hemmt ebenso die Assimilation und Verwertung der Ketonkörper in der Muskulatur. Den Grund dafür, warum es bei jeder Kreatinurie zu einem vermehrten Umsatz von Ketonkörpern kommt, vermutet Brentano darin, daß der Glykogenzerfall in der Muskulatur eine Kohlehydratneubildung aus Fett auslöst, deren Weg über die Ketonkörper geht.

Auch Krainik und Müller (41) schreiben dem Insulin einen ketolytischen Effekt zu, während das Adrenalin die KH-Verbrennung hemmt und zu einer Steigerung der Ketosis führt. Sie halten eine voraufgehende

Glykogenmobilisation für die normale Ursache der Ketolyse; den Reiz, worauf der Stoffwechsel mit einer Glykogenolyse reagiert, erblicken sie in der Blutketonstauung selbst. Im normalen Stoffwechsel werden Ketonkörper, wie Krainik und Müller schreiben, nach ihrer Bildung in der Leber entweder vollständig oxydiert ausgeschieden, oder sie dienen einem synthetischen Aufbau, wahrscheinlich zu Kohlehydraten. Mit diesen müssen die nach Ansicht mehrerer Forscher, auf die Krainik und Müller verweisen, in irgendeiner Phase ihres Stoffwechsels in Beziehung treten, um weiter umgesetzt zu werden. Mit der Ansicht Brentanos, daß der Ort der Ketonkörperumsetzung vor allem im Muskelparenchym zu suchen sei, stimmen Krainik und Müller nicht überein. Die Autoren treten der allgemeinen Annahme entgegen, daß die Glykogenarmut der Leber als alleinige Voraussetzung für die Entstehung einer Ketose anzusehen sei, da nach ihrer Feststellung bei jeder Ketose Glykogen in gleichem Umfang wie bei normaler Stoffwechsellage mobilisiert werden kann. Die Ketonkörperumsetzung scheine nicht nur an den KH-Bestand und -Umsatz in der Muskulatur gebunden, sondern darüberhinaus "an die funktionelle Intaktheit des ganzen sog. inneren KH-Kreislaufs: Muskelglykogen - Muskelglykose (Reaktionsform) - Milchsäure - Leberglykogen - Leberglykose (Transportform) - Muskelglykogen bzw. Muskelglykose". Neben Störungen des muskulären KH-Stoffwechsels kommt nach Krainik und Müller eine Dysfunktion des hepatozellulären Anteils des inneren KH-Kreislaufs als ketogene Ursache in Betracht.

Der KH-Stoffwechsel, so betont Katsch (38), wird in allen seinen Phasen durch Muskulararbeit angeregt und gesteigert. Erstens übt die Muskulararbeit nach Katsch einen Reiz auf die Zuckermobilisation aus der Leber, - bei länger andauernder Arbeit ohne KH-Zufuhr auch aus den Fettdepots, - aus, der zur vorübergehenden "primären" Arbeitshyperglykämie führt, beim Untrainierten stärker als beim Trainierten, beim Diabetiker wie beim Gesunden. Der durch Muskulararbeit ausgeübte Reiz wird, wie Katsch unter Hinweis auf Bürger schreibt, durch einen trophischen Reflex auf die Leber übertragen. Katsch hält auch eine Wirkung der Muskulararbeit auf die Leber durch den Reiz entstehender Stoffwechselprodukte oder durch zentrale Assoziationen im Sinne eines bedingten Reflexes für möglich. Beim hormonarmen Diabetiker komme es durch die in diesem Fall nutzlose Mobilisation von Zucker zu einer nachhaltigen Arbeitshyperglykämie und verstärkten Glykosurie.

Zweitens beeinflusst die Muskulararbeit die chemischen Vorgänge im Muskel, wie Katsch schreibt, im Sinne stärkeren Zuckerverbrauchs und zwar nur in Gegenwart von Insulin. Die vorhandene Insulinwirkung wird verstärkt. Durch

Glykolyse im arbeitenden Muskel kommt es zur "sekundären" Blutzuckersenkung, beim schweren Diabetiker jedoch nur nach künstlicher Insulinzufuhr. Als dritte Wirkung der Muskelarbeit führt Katsch die Ausübung eines Reizes auf die Insulininkretion bei Gesunden und bei Diabetikern, die ein noch teilweise funktionierendes Inselorgan besitzen, an. Letztere neigen bei ungewohnter Arbeit zu hypoglykämischen Zuständen, - wie Katsch annimmt, deshalb, weil sie über geringere Glykogenreserven verfügen. Als mittelbare Wirkungen nach Muskelarbeit führt Katsch an: verstärkte Glykogenresynthese im Muskel und in der Leber sowie verstärkte Ketolyse im Muskel. Die von trainierten Diabetikern auch ohne äußeren Kohlehydratnachschieb ausgeführten vielstündigen Arbeitsleistungen erklärt Katsch durch die Heranziehung von Fett als Energiequelle.

Peters und Van Slyke (50) betonen, daß physiologischerweise wohl Kohlehydrat an erster Stelle als Brennstoff für Muskelarbeit herangezogen wird, soweit es zur Verfügung steht; aber je länger die Arbeit dauert, desto mehr wird auf Fett als Energiequelle zurückgegriffen, was aus dem Sinken des respiratorischen Quotienten ersichtlich ist. Weiter schreiben Peters und Van Slyke, beim Diabetiker fördere Muskelarbeit die Verbrennung zugeführter Kohlehydrate und wirke insulinsparend. Dem Adrenalin messen Peters und Van Slyke nur eine geringe Bedeutung im Kohlehydratstoffwechsel zu.

Chute (6) schreibt dagegen, beim unbehandelten Diabetiker könne Körperbewegung eine erhöhte Fettverbrennung herbeiführen, die ihrerseits eine Ketose bewirkt und zu Azidose und Koma führen kann. Im übrigen weist Chute darauf hin, daß während der Muskelarbeit die Kohlehydrate mit größerer Insulinsparsamkeit verbrannt werden und daß es dadurch bei insulinbehandelten Diabetikern zu einer Insulinreaktion kommen kann.

Regelmäßige körperliche Bewegung führt nach Bertram (4) durch gesteigerte Kohlehydratverbrennung und durch vermehrte Insulinausschüttung oft zu einer Verbesserung der diabetischen Stoffwechsellage. Insulinmangel verursacht dagegen Verarmung des Muskels an Glykogen und dessen Speicherung in der Leber. Eine weitere Verschlechterung der Kohlehydratausnutzung erfolgt, wie Bertram schreibt, dann, wenn zu dem durch Insulinmangel bedingten ein extrainsulärer Glykogenzerfall kommt, wie z. B. durch übergroße Muskelarbeit.

Emden (22) weist auf die Bedeutung hin, die dem wechselnden Permeabilitätszustand der Zellen Zucker brauchender Organe für die Verteilung und Verwertung des Zuckers zukommt. Während der Muskelarbeit sei die Durchlässigkeit der Muskelfasergrenzschichten erheblich gesteigert. In den tätigen Muskel könne der Zucker weit besser als in den ruhenden hineingelangen; daraus

erklärt Emden das Absinken des Blutzuckers während der Arbeit. Auch die Ermüdung ist nach Emden mit einer Permeabilitätsverminderung des Muskels verbunden. Emden erwähnt Forschungsergebnisse von H. Lange, nach denen die Durchlässigkeit der Muskelfasergrenzschichten in hohem Grade von Hormonwirkungen abhängig ist. Adrenalin z.B. ruft eine langandauernde Durchlässigkeitsverminderung hervor.

Das Insulin bewirkt nach den Erfahrungen von Goldstein und Mitarbeitern (26) den Eintritt von Zuckern einer bestimmten chemischen Konstitution aus der extrazellulären Flüssigkeit in bestimmte Zellen, unabhängig davon, ob sie in diesen verwertet werden oder nicht. Aus ihren Versuchsergebnissen schließen die Autoren, daß Muskelarbeit - wahrscheinlich über ein humorales Produkt der sich kontrahierenden Muskulatur - analog der Wirkung des Insulins - primär einen Einfluß auf die Erleichterung der Übertragung bestimmter Zucker über die Zelloberflächenbarrieren ausübt, gleichgültig, ob diese Zucker in den Muskelzellen zu Energiezwecken verwendet werden können. Diese Leistung der Muskelarbeit ist, wie die Autoren hervorheben, unabhängig von der Anwesenheit des Insulins.

Auch nach Best (6) besteht die Wirkung des Insulins darin, daß es das Verschwinden der Glukose aus dem Blut und ihren Eintritt in die Gewebszellen beschleunigt. Insulin, so fährt Best fort, beseitigt den Block in der Enzymtätigkeit, die erstens für die Bildung von Glukose - 6-Phosphat oder seine Umwandlung in Fruktose - 6-Phosphat und zweitens für die Synthese von Fettsäuren aus Kohlenstoffverbindungen nötig ist. Die neuesten Forschungen mit markierter Dextrose zeigen, wie Best schreibt, daß auch die Verbrennung der Glukose durch Insulin erhöht wird.

Auf Grund ihrer Arbeitsversuche an Diabetikern, bei denen sich allgemein eine Erhöhung des RQ und eine Verminderung des Blutzuckerspiegels ergab, schreiben Pasargiklian und Ghiringhelli (49) der Muskelarbeit eine absolute und eine relative Vermehrung der Zuckerverbrennung zu - im Gegensatz zu Grafe und Salomon (28), nach deren Versuchsergebnissen die Zuckerverbrennung beim arbeitenden Diabetiker wohl relativ zu, absolut aber abnimmt.

Pasargiklian und Ghiringhelli halten es für unwahrscheinlich, daß der Zuckerstoffwechsel und der Stoffwechsel der Ketonkörper in chemischem Sinne voneinander abhängig sind.

Wiechmann (57) sieht die günstige Wirkung der Muskelarbeit auf den Diabetiker in einer Steigerung des KH-Umsatzes, der in einer auf reflek-

torischem oder chemischem Wege herbeigeführten Zuckermobilisation in der Leber und einer Steigerung des Zuckerverbrauchs im arbeitenden Muskel beruht.

Nach Grafe und Kühnau (27) besitzt sogar noch der Muskel des schwerkranken Diabetikers die Fähigkeit, Zucker, wenn auch in geringerem Maße als der gesunde, zu verbrennen. Der Zuckerverbrauch des Muskels aber wächst nach Grafe mit seiner Inanspruchnahme. Da die im Harn bei Muskelarbeit verschwindenden Zuckermengen manchmal größer sind als die im Muskel vermehrt zersetzten Beträge, kann man nach Grafe sogar eine gewisse Glykogenbildung annehmen. Der ungünstige Einfluß erschöpfender Muskelarbeit auf die Glykosurie wird nach Grafes Vermutung durch zentralnervöse Auslösung und Einwirkung auf die Muskelkapillaren "im Sinne von Krogh" hervorgerufen.

Beim schweren Diabetes mellitus stehen dem Stoffwechsel, wie Erben (23) schreibt, keine verfügbaren KH-Reserven zu Gebot. Nach Parnas und Wagner sei jedoch der diabetische Organismus fähig, die fehlenden Kohlehydrate durch Neubildung aus Eiweißbeständen des Körpers zu ersetzen. Für die Mobilisierung der Eiweißbestände setzt, wie Erben unter Hinweis auf Ergebnisse von Parnas und Wagner schreibt, eine kompensatorische Überfunktion der Schilddrüse ein.

Aus den Ergebnissen ihrer Arbeitsversuche an pankreaslosen Ratten schließen Ingle und Mitarbeiter (29, 33), daß vom arbeitenden diabetischen Muskel Glukose offenbar gut verwertet werden kann, ohne daß Insulin zur Verfügung steht.

Zusammenfassung:

Die durch Muskelarbeit bedingte Blutzuckersenkung wird dadurch hervorgerufen, daß der sich kontrahierende Muskel den Zucker aus dem vorbeiströmenden Blut zu Energiezwecken heranzieht, sobald das Muskelglykogen aufgebraucht ist, während die Glykogenmobilisation in der Leber nicht mit dem Zuckerverbrauch der Muskulatur Schritt halten kann (53). Eine Steigerung der Zuckerverbrennung im arbeitenden Muskel wird allgemein angenommen (28, 44, 49, 57, 60, 12). Sie wird begünstigt durch eine verstärkte Durchblutung der Muskelkapillaren während der Arbeit, wodurch die Rieselfläche und damit die Wirkungskraft des vorhandenen Insulins so wie der Zuckerumsatz enorm vergrößert werden (16, 7, 18, 60). Durch die Aufzehrung der restlichen Glykogenbestände in den Muskelzellen unter Arbeit wird ein Glykogenvakuum geschaffen und das Nachströmen des Zuckers aus

dem Blut erleichtert (2, 11, 56, 43, 14, 28).

Es wird weiterhin gefördert durch die unter Arbeit verbesserte Permeabilität der Muskelzellgrenzmembran. Der Abbau des Muskelglykogens geht unter Milchsäurebildung vor sich (43, 47, 4).

Muskulararbeit übt einen Reiz auf die Insulininkretion aus - beim Gesunden wie beim Diabetiker, sofern noch funktionierendes Inselparenchym vorhanden ist (4, 25, 18) und führt zu einer Anreicherung von Glykogen in der Muskulatur (4, 27, 28).

Eine Fettverbrennung während körperlicher Arbeit nehmen mehrere Autoren an: Chute (6) beim unbehandelten Diabetiker, wodurch es leicht zu Ketose, ja zum Koma kommen könne; Katsch (38) beim trainierten Diabetiker, wodurch dieser fähig werde, ohne Kohlehydratzufuhr stundenlange Arbeitsleistungen zu vollbringen; Peters und van Slyke (50) sehen die Fettverbrennung bei Muskulararbeit als einen physiologischen in jedem Fall auftretenden Vorgang an. Es wird vermutet, daß psychische Erregung während körperlicher Arbeit zu einer Blutzuckersteigerung führt. (21, 50)

Die Ursache für die starke Arbeitshyperglykämie des schweren oder noch nicht behandelten Diabetikers ist in einem abnorm leichten Glykogenzerfall oder einer erschwerten Glykogenfixation zu erblicken (11, 15, 28).

Es galt bisher als gesichert, daß ohne die Gegenwart von Insulin keine Glykoseverbrennung stattfinden kann (25, 38, 4). Die Ergebnisse der Tierversuche von Ingle und Mitarbeitern (29, 33) machen es jedoch wahrscheinlich, daß Glukose vom sich kontrahierenden Muskel auch in insulinfreiem Zustand gut verwertet werden kann.

Eine akute aglykosurische Arbeitshyperglykämie kann dann auftreten, wenn von der unter Muskulararbeit an Glykogen verarmenden Leber ein Reflex ausgeht, der einen Zuckerverlust durch die Niere entgegenwirkt, um eine weitere Erschöpfung der Glykogendepots des Organismus zu verhindern (15).

5. Möglichkeit der therapeutischen Verwendung von Muskulararbeit bei Diabetes mellitus

a) als alleiniges Heilmittel:

Nur Trousseau (55) schreibt tüchtiger Körperbewegung die Fähigkeit zu, die Gesundheit des Diabetikers - mindestens für einige Zeit - wiederherstellen zu können, ohne daß in seiner Ernährungsweise eine Änderung vorge-

nommen wird. Schon die zuckerkranken Patienten von Zimmer (60) halten neben regelmäßiger Muskularbeit ein bestimmtes Kostmaß ein.

Ein Heilmittel der Zuckerkrankheit nennt Zimmer die Muskularbeit, da er bei seinen diabetischen Patienten nach körperlicher Tätigkeit nicht nur ein Verschwinden des Harnzuckers feststellte, sondern bei regelmäßiger Fortführung körperlicher Übungen auch sah, wie der Allgemeinzustand sich besserte und die Muskulatur fähig wurde, "den Überfluß von Zucker im Blut selbst in Ruhe beinahe vollständig zu zerstören". Jedoch stellte Zimmer diesen Erfolg der Arbeitstherapie nicht in jedem Falle fest. Die günstige oder ungünstige Wirkung der Muskularbeit auf den diabetischen Organismus ist nach Zimmers Meinung abhängig von der Leistungsfähigkeit der Muskeln im Umsatz von Zucker und damit vom Alter und Ernährungszustand des Patienten.

b) Muskularbeit in Kombination mit Diät:

V. Mering (44) betont die Wichtigkeit diätetischer Maßnahmen neben regelmäßiger Muskularbeit bei der Behandlung der Zuckerkrankheit. Er empfiehlt nicht nur bei leichten, sondern auch bei schweren Formen des Diabetes angestrenzte Körperbewegung, da auch bei diesen die Zuckerausscheidung durch Muskularbeit in der Regel herabgesetzt wird. Dabei kommt es - wie v. Mering schreibt - zur Produktion von Wärme, zur Kräftigung der Muskulatur, zur Anregung des Stoffwechsels und zu einer Besserung des Allgemeinbefindens, wobei der Patient durch die Mehrverbrennung von Zucker eine erhöhte Leistungsfähigkeit gewinnt.

V. Mering (45) stellt jedoch bei der Diabetestherapie der Muskularbeit die diätetischen Maßnahmen an die Seite, die durch Spaziergänge, Marschieren, Bergsteigen, Reiten, Jagen, Gartenarbeit, Rudern, Croquet, Tennisspielen, Hanteln, Turnen usw. unterstützt werden sollen. Dabei sei es wesentlich, daß die Muskularbeit unmittelbar nach Zufuhr der Kohlehydrate ausgeführt wird und zwar in intensiver Weise möglichst zwei Stunden lang; dann könne bis in die folgende Nacht hinein die Zuckerausscheidung erheblich verringert werden. Allerdings muß man, so schreibt v. Mering, den persönlichen Verhältnissen Rechnung tragen und eine Überanstrengung häufiger Kranker vermeiden, da diese den Kräfteverfall nur fördern würde. Bei leichten Diabetikern, die mit Massage behandelt wurden, sah v. Mering keine Wirkung auf die Zuckerausscheidung.

Auch Albu (1) beobachtete die günstige Wirkung anstrengender Muskularbeit auf den Allgemeinzustand eines schweren jugendlichen Diabetikers; er

wendet sich entschieden gegen die Meinung Naunins, daß bei diesem günstigen Effekt das Hineinspielen einer psychischen Komponente anzunehmen sei. Albu betont ebenso wie v. Mering, daß Diät und Muskularbeit zusammen wirken müssen. Weil Muskularbeit eine gesteigerte KH-Verbrennung im arbeitenden Muskel bewirkt und dadurch die Glykosurie vermindert, zieht Naunyn (47) die Körperbewegung als symptomatische Behandlung der Zuckerkrankheit in Erwägung. Besonders zu empfehlen sei Muskularbeit - in Gestalt von Reiten, Rudern, Bergsteigen usw. - für jene Diabetiker, bei denen noch nicht zu weit fortgeschrittene Zirkulationsstörungen im Spiele sind; bei diesen wirken Muskularbeit nicht nur symptomatisch. Naunyn warnt jedoch vor Überanstrengung, da körperliche Strapazen auf manche Diabetiker sehr nachteilig wirken.

Massage als Ersatz aktiver Muskelbewegung habe man mit Erfolg angewendet.

Zachariae (59) schreibt, bei Zuckerkranken, bei denen die diätetische Entzuckerung leicht vonstatten geht, könne man auch mit einer Erniedrigung der Hyperglykämie durch Arbeit rechnen. Jedoch bedürfe es stets mehrerer Versuche an aufeinanderfolgenden Tagen und bei gleichbleibender Diät, um das richtige Arbeitsmaß für den Diabetiker feststellen zu können.

Nach Lichtwitz (43) ist eine Senkung des Blutzuckers von Diabetikern durch Muskularbeit nur dann zu erwarten, wenn vorher der KH-Stoffwechsel durch diätetische Behandlung kompensiert worden ist. Während Lichtwitz bei Zuckerkranken mit unkompensierter Stoffwechsellage nach Arbeit eine erhebliche Blutzuckersteigerung bis 11 % sah, wirkte sich Muskularbeit nach längerer diätetischer Behandlung auch auf schwere Diabetiker günstig aus.

Die Arbeitsblutzuckerkurve des Diabetikers muß, wie Bürger (16) schreibt, durch eine geregelte Diät dahingehend beeinflußt werden, daß die primäre Steigerung ausbleibt, und wie beim Gesunden eine Senkung unter den Ausgangswert eintritt. Sobald durch Entzuckerung diese negative Arbeitsreaktion erreicht ist, sieht Bürger den Zeitpunkt für eine systematische Arbeitstherapie gekommen, die die Hauptverbrennungsorte des Zuckers, die Muskeln, wieder funktionstüchtig machen soll. Denn in den Muskeln, so schreibt Bürger, ist der Hauptdamm gegeben, der den einmal ins Blut übergetretenen Zucker in die Bahnen eines geordneten Verbrauchs lenken kann. Die Verbrennung des vermehrten Blutzuckers wird nach Bürger dadurch begünstigt, daß während der Arbeit das Blut von der Produktionsstätte des Zuckers, der Leber, an den Ort des Verbrauchs in den Muskeln abgelenkt wird. Um einen deutlich erkennbaren Arbeitseffekt hervorzurufen, muß nach Bürgers

Erfahrung der Patient eine Arbeit von über 200-500 kgm leisten. Als wichtigen Faktor für den Ausfall der Arbeitsreaktion nennt Bürger neben dem Glykogenvorrat des Organismus den Charakter der Diabetes. Der schwere jugendliche Zuckerkrankte reagiere eher mit einer Arbeitshyperglykämie als der Alterdiabetiker. Körperliche Tätigkeit ist, wie Bürger betont, nur als eine Unterstützung der diätetischen Therapie anzusehen.

Grafe und Salomon (28) bezeichnen auf Grund ihrer Versuchsergebnisse nicht erschöpfende körperliche Arbeit für den Diabetiker als durchaus zweckmäßig, wenn auch die Zuckerverbrennung oft nur geringgradig, manchmal auch gar nicht gesteigert werde..

c) Muskularbeit mit Diät und Insulin:

Durch die Einführung des Insulins in die Diabetestherapie erfolgte ein starker Einschnitt in der therapeutischen Anwendung der Muskularbeit. Denn nach Ansicht mehrerer Autoren können jetzt auch solche Diabetiker, denen früher Muskularbeit nicht zumutbar war, mit Hilfe der Insulinbehandlung einer Arbeitstherapie zugeführt werden. Andererseits besteht jedoch die Gefahr der hypoglykämischen Reaktion beim insuliniierten Diabetiker noch mehr als beim nur diätetisch behandelten.

Rostoski (51) weist darauf hin, daß Zuckerkrankte bei körperlicher Anstrengung weniger Insulin brauchen resp. mehr Kohlehydrate tolerieren. Patienten, die aus der Klinik in einen körperlich anstrengenden Beruf zurückkehrten, neigten nach Rostoskis Beobachtungen zu glykopri ven Zuständen, und mußten deshalb Leistungszulagen bekommen, die an Tagen mit wenig körperlicher Arbeit, z.B. sonntags, wegfielen. Auch bei Hausfrauen wirkt schon die tägliche Arbeit blutzuckersenkend.

Nur bei diätetisch vorbehandelten Diabetikern sahen Bürger und Kramer (18) einen günstigen Einfluß der Muskularbeit auf den KH-Stoffwechsel. Außerdem betonen Bürger und Kramer, daß die Insulinwirkung durch Muskularbeit um ein Vielfaches gesteigert werden kann.

Nach abgeschlossener Arbeit findet, wie die Autoren annehmen, eine Fixation von Blutzucker in der Muskulatur statt. Daher werde bei länger dauernder systematisch ausgeübter Arbeit bei gleichzeitiger Nahrungsaufnahme die Muskulatur im Vergleich zur ungeübten glykogenreicher. Die Autoren weisen darauf hin, daß bei allen diätetischen und medikamentösen Vorschriften, die dem Diabetiker auf lange Sicht erteilt werden, stets die insulinsparende Wirkung der Muskularbeit berücksichtigt werden muß.

Gerl und Hofmann (25) beobachteten bei systematisch durchgeführter Muskularbeit bei gleichbläbender Kost und Insulinzufuhr einen zunehmenden Rückgang der Glykosurie und bei weiterer Fortführung der Körperbewegung ein Auftreten hypoglykämischer Zustände, die durch Kostzulagen und wiederholte Insulinreduktion bekämpft werden mußten. An arbeitsfreien Tagen jedoch stieg die Glykosurie wieder an. Der Blutzuckerabfall entspricht nach Gerls und Hofmanns Erfahrungen der Schwere der Arbeit. Da bei schwerer Muskularbeit die zugeführte Insulinmenge bedeutend reduziert werden muß, ist nach Gerl und Hofmann Körperbewegung bei Diabetes nicht nur erlaubt, sondern sogar indiziert. Zu einer Verringerung des Bedarfs an exogen zugeführtem Insulin durch die gesteigerte Eigenproduktion komme es jedoch nicht in schweren Fällen; in diesen werde durch Mobilisierung von Leberglykogen Blut- und Harnzucker nur gesteigert.

Van Noorden (48) hält bei günstiger Stoffwechsellaqe eine nicht ermüdende Tätigkeit für vorteilhaft; dabei müsse aber die Muskularbeit durchaus fallweise dosiert werden. Van Noorden rät, bei ins Erwerbsleben zurückkehrenden Diabtikern unterwertige Insulindosen zu verordnen, und sich eine endgültige Regelung vorzubehalten, die sich nach Entwicklung der Stoffwechsellaqe richtet, da Körperbetätigung manchmal bei insulinbehandelten Diabetikern während gleichbleibender Kost zu hypoglykämischen Zuständen führt. Van Noorden findet ebenso wie Bürger (15) keinen Parallelismus zwischen dem Arbeitsmaß und dem Ausschlag der Blutzuckerkurve. Schaden wird Muskularbeit dann, so schreibt van Noorden, wenn bei völligem Insulinmangel die Dämpfung des Glykogenabbaus versagt und durch die Anforderung der arbeitenden Muskeln die Zuckerproduktion über den wahren Bedarf hinauschießt.

Im Hinblick auf die Azetonbildung sehen Rothkopf und Schorn (52) eine schwere Arbeitsbelastung leichter Diabetiker als unbedenklich an, da die Azetonbildung, wie aus ihren Versuchen hervorgeht, auf die Einheit des Sauerstoffverbrauchs und des Kalorienumsatzes bezogen bei Arbeit abnimmt. - So fand auch Bürger (16) bei arbeitenden Diabetikern sogar in schweren Fällen keine wesentliche Änderung der Azetonausscheidung im Urin. - Rothkopf und Schorn betonen jedoch, daß die Azetonausscheidung nicht nach dem Ausfall der Harnuntersuchung beurteilt werden kann, da der Schwerpunkt der Ausscheidung bei der unter Arbeit enorm gesteigerten Atmung liegt.

Als Sofortwirkung der Muskularbeit tritt nach Brentano (11) eine Aufzehrung der noch vorhandenen Glykogenreserven ein. Bei systematischer

Übung während längerer Zeit erfolgt, wie Brentano unter Hinweis auf Untersuchungen von Emden und Hals anführt, eine erhebliche Glykogenzunahme in der Muskulatur; das so gebildete Glykogen werde viel schwerer wieder abgebaut als normalerweise, so daß sich der trainierte Muskel gerade umgekehrt wie der diabetische verhalte und das Muskeltraining geradezu als "Gegengift gegen die diabetische Stoffwechselstörung zu bezeichnen" sei.

Von Bergmann (2) schreibt der Muskelarbeit eine KH-bilanzverbessernde Wirkung zu.

Nach Brauchs (7) Erfahrung wird der Blutzuckerspiegel bei Zuckerkranken durch Arbeit gegenüber den Ruhetagen herabgesetzt und in den meisten Fällen die Insulinempfindlichkeit gesteigert, wodurch es zu erhöhter Schockbereitschaft kommt. Dabei hing der Ausbruch des Schocks mehr von der Größe des Blutzuckergefälles als von der absoluten Höhe des Blutzuckers ab. Solange der diabetische Krankheitsprozeß keine wesentliche Änderung erfährt, könne man bei demselben Individuum immer wieder mit der gleichen, einmal gefundenen Arbeitsreaktion rechnen. Diese Erfahrung hat im Gegensatz zu Zachariae (59) auch Bürger (15) gemacht. Brauch legt besonderen Wert darauf, die Zuckerkranken wieder arbeitsfähig zu machen und betont, daß man zu diesem Zweck bei dauernder individueller Diät und Insulintherapie auch schwere Diabetiker mit Erfolg einer Arbeitstherapie unterziehen kann, denen man früher keine Arbeitsbelastung zumuten konnte. Im Hinblick auf therapeutisches Handeln empfiehlt Brauch die Anwendung von dosierter, dem Kranken angepaßter Berufsarbeit. Durch die Anwendung von Insulin sind nach Brauch die Möglichkeiten für eine Arbeitstherapie erheblich gesteigert worden (8). Aber gerade bei der Arbeitstherapie muß, wie Brauch betont, auf eine peinlich genaue diätetische Einstellung Wert gelegt werden, um die optimale Leistungsfähigkeit zu erhalten. Sorgfalt bedarf das Ausprobieren der vor der Arbeit zu gebenden Insulindosis, da nach Brauchs Beobachtung körperliche Arbeit eine wechselnde Insulinempfindlichkeit bedingt. Die Insulindosis muß sich an die verschiedene Schwere der Arbeit, z.B. bei Landarbeitern an schwere Ernte- und leichte Winterarbeit, oder an Sonn- und Werkstage anpassen. Eine Kontraindikation für systematische Arbeitsbelastung bilden wie Brauch schreibt, Herzerkrankungen; kreislaufgefährdet seien alle Diabetiker, die einmal ein Koma durchgemacht haben. Ebenso sei bei stark azidotischen Diabetikern Muskelarbeit zu widerraten. Geringe, über längere Zeit gleichbleibende Azetonurie bildet jedoch nach Brauch keine Kontraindikation für die Ausübung körperlicher Tätigkeit. Die wichtigsten Kontraindikationen für eine Arbeitstherapie ergeben sich Brauchs Erfahrungen zufolge, erst im tage- und

wochenlang durchgeführten Arbeitsversuch. Es sind vor allem: Kreislaufversagen - besonders bei fetten, muskelschwachen Personen - ungünstige Allgemeinreaktion und schwere Schocks, die bei empfindlichen Personen schon nach wenig anstrengender Tätigkeit auftreten können. Brauch fordert die wiederholte Vornahme von Blutzuckeruntersuchungen während der Behandlung, da, wie er unter Hinweis auf Ergebnisse von Lichtwitz und Bürger schreibt, das Blutzuckerverhalten nicht immer aus der Menge des Harnzuckers ersichtlich ist. Brauch weist darauf hin, daß die Leistungsfähigkeit des Diabetikers für Muskelarbeit durch Insulin gesteigert wird.

Dies betont auch Bürger (17), der feststellte, daß Arbeit in Verbindung mit Insulingaben auch in solchen Fällen, bei denen Körperbetätigung ohne Insulin eine Steigerung des Blutzuckers bewirkte, eine Blutzuckersenkung herbeiführte, und zwar fast auf die Hälfte desjenigen Wertes, der mit der gleichen Insulindosis allein erzielt wurde. Diese Kombinationswirkung muß, so betont Bürger, vom Arzt beachtet werden, um der Gefahr der Hypoglykämie vorbeugen zu können.

Nach Katschs Erfahrungen (37) in der Garzer Klinik ist die nützliche Wirkung körperlicher Arbeit auf den Zuckerkranken eine unumstößliche Tatsache. Der Diabetiker verwertet während körperlicher Arbeit mehr Kohlehydrate als in Ruhe. Daher fordert Katsch bei nichtkörperlich tätigen Diabetikern die Schaffung eines Ausgleichs durch Sport, Gymnastik und Spaziergänge. Dies komme jedoch nur bei relativ KH-reicher Ernährung und ausreichender KH-Verwertung in Frage. Bei Muskelarbeit muß, Katschs Erfahrung zufolge, entweder die KH-Ration gesteigert, oder die Insulindosis verringert werden.

Oft konnte nach Verordnung von Sport und Gartenarbeit die Insulinmenge auf den dritten Teil herabgesetzt werden. Katsch fordert eine individuelle Erprobung der zeitlichen Abstände der Insulinspritze von der körperlichen Arbeit, sonst führe diese leicht zum Schock.

K a t s c h (38) hebt hervor, daß die dem Diabetiker mit Nutzen zumutbare Arbeit mit Hilfe des Insulins gegenüber der Vorinsulinaera erheblich gesteigert werden kann. Die Muskelarbeit, so schreibt Katsch, spürt Insulin, steigert die Nutzbilanz der Kohlehydrate und regt den KH-Stoffwechsel in allen seinen Phasen an, indem sie die chemischen Vorgänge im Muskel im Sinne stärkeren Zuckerverbrauchs beeinflusst. Dies geschieht jedoch nur bei Gegenwart von Insulin. Daher sei Muskelarbeit dann schädlich, wenn gar kein Insulin zur Verfügung steht, und wenn sich die Muskulatur nach längerer Stoffwechselkompensation in einem Verfallszustand

befindet. Ob das nötige Insulin aus eigener Restproduktion stammt oder künstlich zugeführt wird, macht keinen grundsätzlichen Unterschied. Andererseits verstärkt Muskelarbeit, wie Katsch schreibt, die vorhandene Insulinwirkung und übt bei Diabetikern mit noch teilweise funktionierendem Inselorgan einen Reiz auf die Insulininkretion aus. Solche Diabetiker neigen, wie Katsch vermutet, wegen ihrer im Vergleich zum Gesunden geringen Glykogenreserven zu hypoglykämischen Zuständen - besonders, wenn sie nicht an Arbeit gewöhnt sind. Die Gefahr des Auftretens hypoglykämischer Zustände, bei denen es zu hoher kompensatorischer Hyperglykämie und Glykosurie sowie zu Schädigungen von Herz und Kreislauf kommt, besteht nach Katschs Erfahrung in erhöhtem Maße nach Muskelarbeit bei Anwendung von Verzögerungsinsulinen. Insulinierte und nicht insulinierte Diabetiker brauchen, sie Katsch schreibt, während körperlicher Arbeit in gewissen Abständen KH-Zufuhr, um einem zu tiefen Absinken der Blutzuckerkurve zu begegnen.

Nicht nur der einzelne Arbeitstag wirkt nach Katsch günstig auf die Stoffwechsellage des Diabetikers, sondern durch tägliche, regelmäßige Muskelarbeit kommt es zu einer steigenden Toleranzverbesserung für Kohlehydrate, was sich bei insulinbehandelten Zuckerkranken darin zeigt, daß die Insulindosis mehr und mehr abgebaut, die KH-Ration dagegen vergrößert werden muß. An Ruhetagen steigen jedoch bei arbeitsgewohnten Diabetikern Hyperglykämie und Glykosurie wieder an, Katsch betont, daß Insulingabe, Arbeitsmaß und Ernährung aufeinander abgestimmt sein müssen ("elastische Diät"). Besonders günstig wirkt nach Katsch eine langdauernde mäßige Muskelarbeit, während bei starker kurzfristiger Anstrengung auf die rasche Blutzuckersenkung ein Blutzuckeranstieg folgt, der über der Kurve der Ruhetage liegt. Bei öfterer Wiederholung körperlicher Übungen tritt eine zunehmende Stabilisierung im Verhalten von Stoffwechsel und Kreislauf ein.

Undurchführbar ist eine Arbeitstherapie, wie Katsch schreibt, nur bei solchen Diabetikern, bei denen noch eine weitere Krankheit wie Anämie, Polyneuritis usw. hinzukommt oder bei denen Herz und Kreislauf schwer geschädigt sind.

Nach Brauch und Schultz (9) besteht das Wesen der Arbeitstherapie darin, daß dosierte körperliche Berufsarbeit als differenter insulinsparender Faktor von vorneherein in den diätetischen Heilplan eingebaut wird, damit nach Entlassung aus der Klinik und Aufnahme der Berufsarbeit das Stoffgleichgewicht erhalten bleibt. Aufgrund ihrer Versuche, bei denen von 42 Diabetikern nur 4 unter Arbeitsbelastung eindeutige EKG-Veränderungen aufwiesen, während in den übrigen Fällen keinerlei nachteilige Einwirkungen

feststellbar waren, sehen die Autoren keine erhebliche Kreislaufgefährdung Zuckerkranker durch Muskelarbeit.

Falta (24) weist darauf hin, daß durch Muskelbewegung der Insulinbedarf beträchtlich herabgesetzt zu werden pflegt, so daß z.B. manchmal die Injektion vor dem Frühstück ganz weggelassen werden kann, wenn während des Vormittags ein größerer Spaziergang gemacht oder Sport getrieben wird. Sonst muß vor der körperlichen Leistung entsprechend mehr Nahrung zugeführt werden. Daher sei es notwendig, in jedem einzelnen Falle festzustellen, um wieviel die Insulindosis bei einer bestimmten körperlichen Leistung gesenkt werden muß, um einen hypoglykämischen Anfall zu vermeiden.

Kontraindiziert ist Muskelarbeit nach Falta bei schweren zu Azidose neigenden Fällen, bei Schrumpfnieren, bei älteren Leuten mit Arteriosklerose, Myodegeneratio cordis und mit Anfälligkeit für anginöse Beschwerden, jedoch durchaus nicht immer bei Hypotonikern; bei diesen erweise sich ein mäßiges Training oft als äußerst vorteilhaft. Bei der Komplikation mit Fettsucht muß, so schreibt Falta, der Zustand des Herzens besonders berücksichtigt werden.

"Ein Diabetiker braucht Körperbewegung, wenn es ihm gut gehen soll". Dies schreibt Joslin (35) und bezeichnet Muskelarbeit als eine große Unterstützung für Diät und Insulin, da sie mit dem Blutzucker den Insulinbedarf erniedrigt und eine größere Nahrungsaufnahme ermöglicht. Joslin betont, Muskelarbeit sei so wichtig für die ordentliche Assimilation der Kohlehydrate, daß man sogar chirurgisch kranke Diabetiker dazu anhalten soll, man müsse aber die körperliche Arbeit überwachen, um hypoglykämische Zustände zu verhindern. Körperbewegung führt nach Joslin (36) bei dem Diabetiker zu einer Blutzuckersenkung dessen Organismus einen ausreichenden Vorrat an Insulin exogenen oder endogenen Ursprungs besitzt. Arbeit führe jedoch einen Anstieg und kein Absinken des Blutzuckerspiegels herbei, wenn der Zuckerkranke z. Zt. der Muskelanstrengung ohne Insulin ist. Dies sah Joslin bei schweren und mittelschweren Diabetikern, die sich motgens vor der Insulingabe körperlich betätigten; nach Verabreichung des Frühstücks und einer kleinen Insulindosis fortgesetzte Muskelarbeit erzeugte einen Blutzuckerabfall, der tiefer war, als durch das Insulin allein zu erwarten gewesen wäre. Joslin führt eine Beobachtung von Lawrence an, daß der insulinwirkungsverbessernde Effekt der Muskelarbeit am größten ist während der maximalen Wirksamkeit des Insulins.

Für zuckerkranken Kinder sind, wie Joslin betont, Leibesübungen eben so wichtig, wie Diät und Insulin. Wie Muskelübungen die Nahrungstoleranz verbessern

und den Insulinbedarf senken, zeigt sich, so schreibt Joslin, besonders deutlich in dem viel geringeren Insulinbedarf diabetischer Kinder, während des Aufenthalts in Sommerlagern im Gegensatz zu dem größeren Bedarf im Winter, wenn die Kinder relativ untätig sind. Im Widerspruch zu Katsch (38), der der erhöhten Hypoglykämiegefahr wegen vor der Anwendung von Verzögerungsinsulinen bei körperlicher Arbeit warnt, schreibt Joslin, das Protaminzinkinsulin ahme endogenes Insulin nach und verwandle den Patienten in einen mittleren Diabetestyp, so daß er fähig werde, durch Muskulararbeit zu profitieren. Joslin empfiehlt, bei der Insulinverordnung auf die blutzuckersenkende Wirkung der Körperbewegung Rücksicht zu nehmen und die Insulindosis zu reduzieren, bevor der Patient das Krankenhaus verläßt.

Auch Bertram (3) ist der Meinung, daß die Muskulararbeit der Diät- und Insulinbehandlung erst den Weg zur vollen Auswirkung bahnt; regelmäßig angewandt erhöht sie, wie Bertram schreibt, die Zuckerverbrennung und spart auf diese Weise Insulin. Als dafür besonders geeignete Sportarten empfiehlt Bertram solche, die den Körper gleichmäßig belasten, wie Spaziergänge, Radfahren, Schwimmen, Reiten, Bergsteigen usw. Jedoch warnt Bertram vor besonders schweren Anstrengungen, da hierdurch das Auftreten von Azeton begünstigt wird. Bei insulinbehandelten Diabetikern führt ungewohnte Arbeit nach Bertrams Erfahrung oft zu Schockzuständen, wenn die Insulindosis nicht rechtzeitig herabgesetzt wird. Andererseits könne das Unterlassen gewohnter Arbeit, z.B. sonntags oder in den Wintermonaten eine Stoffwechselverschlechterung und gesteigerte Zuckerausscheidung zur Folge haben.

Bei der klinischen Einstellung soll nach Bertrams (4) Forderung eine der jeweiligen Berufsarbeit möglichst angepaßte körperliche Tätigkeit ausgeübt werden. Muskulararbeit führt, wie Bertram schreibt, durch erhöhte KH-Verbrennung und Anregung zu vermehrter Insulinausschüttung zu einer Besserung der Stoffwechsellaage des Diabetikers. Bei nicht arbeitsfähigen Patienten bietet Ganzmassage nach Bertram einen gewissen Ersatz.

Bertram weist ferner darauf hin, daß beim Insulinmangeldiabetes des Jugendlichen die Nierenschwelle oft erniedrigt, bei älteren Zuckerkranken und bei fieberhaften Komplikationen dagegen oft erhöht ist; dabei dichtet die Niere aktiv ihre Zellen gegen Zucker ab, um eine gewisse Zuckerausnutzung zu veranlassen.

Auch Bertram, Feldkirchner und Meinecke (5) fordern, die Einstellung des Diabetikers im Hinblick auf die normale Lebensweise und Berufstätigkeit vorzunehmen. Die körperliche Tätigkeit ist, wie die Autoren

betonen, besonders bei spielenden und Sport treibenden Kindern und Jugendlichen zu berücksichtigen; bei diesen sei wegen der ungleichmäßigen körperlichen Betätigung und mangelnden diätetischen Disziplin eine Einstellung auf Longinsulin erschwert oder ganz unmöglich.

Chute (6)¹⁾ weist auf die hervorragende Rolle der Leibesübungen bei der Behandlung des kindlichen Diabetes hin. Da bei Muskularbeit die Kohlehydrate mit größerer Insulinsparsamkeit verbrannt werden als in Ruhe, komme es jedoch bei insuliniierten Diabetikern durch ungewohnte Arbeit leicht zu einer Insulinreaktion. Dagegen kommt es, wie Chute schreibt, beim unbehandelten Zuckerkranken durch vermehrte Fettverbrennung oft bei körperlicher Tätigkeit zur Ketose und sogar zum Koma.

K u n t z e (42) legt wie Brauch (8) besonderen Wert darauf, daß die moderne Diabetesbehandlung den Kranken zum arbeitsfähigen Menschen macht. Dies werde neben der Therapie mit Diät und Insulin durch körperliche Betätigung erreicht, die den Zucker in der Muskulatur verbrennt.

Die Reaktion des Blutzuckers auf Muskularbeit ist nach Wiechmann (57) bei Diabetikern wesentlich stärker als beim Gesunden. Bei körperlicher Anstrengung brauchen Zuckerkranken wie Wiechmann schreibt, weniger Insulin resp. tolerieren sie mehr Kohlehydrate, so daß deutliche Hypoglykämiesymptome auftreten, wenn weder Insulindosis noch KH-Zufuhr geändert werden. Der Arzt muß dem Diabetiker nach Wiechmanns Forderung nicht nur Diät oder Diät und Insulin, sondern auch Muskularbeit verordnen, z.B. in Form von Spaziergängen, Bergsteigen, Reiten, Gartenarbeit usw. Für eine Arbeitstherapie ungeeignet erscheint Wiechmann der schwere azidotische Diabetiker, bei dem der Blutzucker durch körperliche Anstrengung nur steigen würde und zwar desto schneller und höher, je schlechter die KH-Toleranz ist. Erst wenn der Patient mit Hilfe von Diät und Insulin auf ein Stoffwechselgleichgewicht eingestellt ist, könne ihm Muskularbeit gestattet werden, die aber nach Art und Dauer bestimmt sein muß. Von einer Massage als Ersatz für aktive Bewegung ist nach Wiechmann nur eine geringfügige Unterstützung der Gesamttherapie zu erwarten.

Grafe (27) nennt Muskularbeit ein ausgezeichnetes Therapeuticum für die Zuckerkrankheit. Nicht ermüdende Muskularbeit könne - sogar beim Schwerkranken - die Blutzuckermenge und in etwas schwächerem Maße auch die Glykosurie herabsetzen; denn auch der diabetische Muskel besitze, wenn auch nicht im gleichen Maße, wie der gesunde, die Fähigkeit, Zucker zu verbrennen. Jeder etwas stärkeren körperlichen Arbeit muß - wie Grafe betont - eine Normalisierung des Kohlehydratstoffwechsels vorausgehen. Falls

dabei Insulin verwendet wird, muß man die später zu leistende Arbeit berücksichtigen, durch die die hypoglykämische Wirkung des Insulins in oft nicht vorauszusehender Weise gesteigert werden kann, wobei Kranke mit sehr labilem Blutzucker besonders gefährdet sind.

d) Zusammenfassung:

Viele ältere Autoren (55, 60, 44, 45) stimmen mit denen der Gegenwart (24, 2., 35, 36, 3, 38, 57) darin überein, daß Muskelarbeit als ein hervorragendes, ja geradezu unentbehrliches Therapeuticum des Diabetes mellitus anzusehen ist, das heute jedoch nur in Verbindung mit Diät und Insulinbehandlung angewendet werden soll (7, 8, 38, 35, 36, 17). Dabei müssen Diät, Insulindosis und Körperbewegung genau aufeinander abgestimmt sein (3, 8, 24, 35, 37). Bei längere Zeit systematisch durchgeführten körperlichen Übungen bessert sich das Allgemeinbefinden (60, 45, 15, 1, 47, 59), die Muskulatur kräftigt sich und wird glykogenreicher (11, 45, 60). Der Bedarf an exogen zugeführtem Insulin nimmt bis zu einem gewissen Grade mehr und mehr ab (51, 18, 25, 3), während die Kohlehydratration gesteigert werden kann (37, 24, 57). An zwischengeschalteten arbeitsfreien Tagen sah nur Zimmer (60) in manchen Fällen ein Andauern der günstigen Arbeitswirkung die meisten Autoren verzeichnen jedoch einen Wieder-Anstieg von Glykämie und Glykosurie (3, 37, 38). Längerdauernde oder endgültige Besserung des Diabetes durch Bewegungstherapie wird nicht beschrieben.

Vielfach wird darauf hingewiesen, daß während der Behandlung nicht nur Harnzuckeruntersuchungen, sondern auch wiederholte Blutzuckerkontrollen durchgeführt werden müssen, da Blut und Harnzuckergehalt nicht immer übereinstimmen (43, 59, 15, 28).

Für die Arbeitstherapie geeignet erscheinen leichte, mittelschwere und schwere Diabetiker, sofern sie sich in einem Stoffwechselgleichgewicht befinden und eine gute Kohlehydratbilanz aufweisen (7, 37, 43).

Allerdings wird im Hinblick auf erneute Stoffwechselverschlechterung vor übertriebenen Anstrengungen gewarnt (47, 27).

Der Gesamtmassage als Ersatz für aktive Muskeltätigkeit wird allgemein nur geringe Bedeutung zugemessen (45, 57, 4).

Wiederholt wird auf die vermehrte Insulinempfindlichkeit und damit vermehrte Schockgefahr beim insulinbehandelten arbeitenden Diabetiker hingewiesen (3, 38, 7, 27, 48, 51).

Die Blutzuckersenkung ging der geleisteten Arbeit nicht parallel (15, 48). Der Harnzucker verschwand manchmal, während der Blutzuckerspiegel hoch anstieg (15), nahm jedoch nach Muskelarbeit im allgemeinen ab (1, 44, 60, 47).

Mit einer weiteren Krankheit wie Anämie, Schrumpfnieren, Koronarsklerose komplizierte Fälle, sowie Patienten im Präkoma, sind für eine Arbeitstherapie absolut ungeeignet (24, 28).

Literaturverzeichnis

- (1) Albu, A. : Berliner klin. Wschr. 36 (1899) 235 "Über den
Einfluß starker Muskeltätigkeit (Radfahren) auf
den Diabetes".
- (2) Bergmann, G. v. : Berlin 1932 "Funktionelle Pathologie"
- (3) Bertram, F. : Stuttgart 1947 "ABC für Zuckerkrankte"
- (4) Bertram, F. : Stuttgart 1947 "Die Zuckerkrankheit"
- (5) Bertram, F.,
Feldkirchner, E. und
Meinecke, R. : Dtsch. med. Wschr. 79 (1954), 28 "Neue
Möglichkeiten einer optimalen Insulinthe-
rapie"
- (6) Best, C.H. und
Chute, A.L. : Vol. 9 No. 4 (1952) 502 "Symposium on
Carbohydrate Metabolism" (various authors).
- (7) Brauch, F. : Dtsch. Arch. klin. Med. 174 (1933) 352 "Berufs-
arbeit und Insulinwirkung bei Diabetikern"
- (8) Brauch, F. : Ztrlbl. inn. Med. 54 (1933) 865 "Erfahrungen
mit der Arbeitstherapie beim Diabetes"
- (9) Brauch, F. und
Schultz, H. : Klin. Wschr. 18 (1939) 642 "Zur Arbeitstherapie
des Diabetes"
- (10) Brentano, C. : Ztschr. klin. Med. 124 (1933) 237 "Beitrag
zur Physiologie und Pathologie des Keton-
körperstoffwechsels"
- (11) Brentano, C. : Dtsch. med. Wschr. 10 (1935) 365 und 11 (1935)
409 "Moderne Diabetesprobleme"
- (12) Breul, L. : Arch. exp. Path. u. Pharm. XL (1898) I "Kann
der Zuckergehalt des normalen Harnes durch
einseitige Ernährungsweise und andere noch
in den Bereich des Physiologischen fallende
Bedingungen zu höheren Graden gesteigert werden?"

- (13) Britton, S. W. : Am. Journ. Physiol. 86 (1928) 340 "Neural and Humoral Factors in Bodily Activity"
- (14) Bürger, M. : Ztschr. ges. exp. Med. 5 (1916) 125 "Die Wirkung der Arbeit auf den Zuckergehalt des menschlichen Blutes"
- (15) Bürger, M. : Arch. exp. Path. u. Pharm. 87 (1920) 233 "Die Wirkung der Muskelarbeit auf Blut- und Harnzucker beim Diabetiker"
- (16) Bürger, M. : Verhdlg. d. dtsh. Gesellsch. inn. Med. XXX. Kongr. Wiesbaden (1921) 303 "Die experimentellen Grundlagen einer Arbeitstherapie des Diabetes"
- (17) Bürger, M. : Verhdlg. des 49. Kongr. d. dtsh. Gesellsch. inn. Med. II (1937) 23 "Ernährungsbehandlung der Zuckerkrankheit"
- (18) Bürger, M. u. Kramer, H. : Klin. Wschr. 16 (1928) 745 "Über die durch Muskelarbeit hervorgerufene Steigerung der Insulinwirkung auf den Blutzuckergehalt beim normalen und gestörten Kohlehydratstoffwechsel"
- (19) Burger, G. C. E. u. Martens, J. C. : Klin. Wschr. 3 (1924) 1860 "Der Blutzucker bei Muskelarbeit"
- (20) Deutsch, F. u. Weiss, E. : Med. Klinik 8 (1930) 274 "Die praktische Verwertbarkeit der Blutzuckerkurve zur Beurteilung der Sporttauglichkeit"
- (21) Edwards, H. T., Richards, T. K. u. Dill, D. B. : Am. Journ. Physiol. 98 (1931) 352 "Blood Sugar, Urine Sugar and Urine Protein in Exercise"
- (22) Emden, G. : Verhdlg. d. dtsh. Gesellsch. inn. Med. 33. Kongr. (1921) 334 Diskussionsbeitrag

- (23) Erben, F. : Ztschr.klin.Med. 134 (1938) 31 "Einblicke in den Kohlehydratstoffwechsel durch das Studium der Glykogenose"
- (24) Falta, W. : Berlin-Wien 1939 "Die Zuckerkrankheit"
- (25) Gerl, A.u.
Hofmann, A. : Klin.Wschr. 2 (1928) 59 "Muskelarbeit und Insulinbedarf"
- (26) Goldstein, M.S.,
Mullik, V.
Huddlestun, B.H. u.
Levine, R. : 173 (1953) 212 "Action of Muscular Work on Transfer of Sugar Across Cell Barriers; Comparison with Action of Insulin"
- (27) Grafe, E. : Berlin-Göttingen, Heidelberg 1955 Handbuch der Inneren Medizin VII/2 102
- (28) Grafe, E. u.
Salomon, H. : Dtsch.Arch.klin.Med. 139 (1922) 369 "Über den Einfluß der Muskelarbeit auf die Intensität der Zuckerverbrennung beim Diabetiker"
- (29) Ingle, D.J. : Prc.Soc.Exp.Biol. & Med. 67 (1948) 299 "Effect of Muscle Work upon Level of Blood Glucose in the Eviscerated Rat"
- (30) Ingle, D.J. u.
Nezamis, J.E. : Am.Journ.Physiol. 155 (1948) 15 "Effect of Muscel Work upon Tolerance of Eviscerated Rat for Glucose"
- (31) Ingle, D.J.,
Nezamis, J.E. u.
Morley, E.H. : Journal Physiol. 160 (1950) 506 "Effect of Work upon Tolerance of the Normal Rat for Intravenously Administered Glucose"
- (32) Ingle, D.J.,
Nezamis, J.E. u.
Rice, K. : Endocrinology 46 (1950) 505 "Work output and Blood Glucose Values in Normal and in Diabetic Rats Subjected to the Stimulation of Muscle"

- (33) Ingle, D. J.,
Nezamis, J. E. u.
Morley, E. H. : Am. Journ. Physiol. 165 (1951) 469 "Work Output and Blood Glucose Values in Severely Diabetic Rats with and without Insulin"
- (34) Ingle, D. J.,
Nezamis, J. E. u.
Morley, E. H. : Am. Journ. Physiol. 165 (1951) 473 "Effect of Continous Infusion of Glucose upon Work Performance of Adrenalectomized Rats as Related to Fluid Volume".
- (35) Joslin, E. P. : Philadelphia, 1945 "Diabetic Manual"
- (36) Joslin, E. P. : Philadelphia, 1947 "Treatment of Diabetes Mellitus"
- (37) Katsch, G. : Klin. Wschr. 11 (1937) 365 "Garzer Thesen zur Ernährungsführung der Zuckerkranken"
- (38) Katsch, G. : Ergebn. physikal. diät. Therapie 1 (1939) 1 "Die Arbeitstherapie der Zuckerkranken"
- (39) Katsch, G. : Med. Klinik 17 (1947) 708 "Die gegenwärtige Therapie der Zuckerkrankheit"
- (40) Krainik, H. G. u.
Müller, F. : Klin. Wschr. 30 (1938) 1040 "Zur Physiologie und Pathologie des intermediären Fettstoffwechsels" III. Mitteilung
- (41) Krainik, H. G. u.
Müller, F. : Klin. Wschr. 1 (1938) 1275 "Zur Physiologie und Pathologie des intermediären Fettstoffwechsels" IV. Mitteilung
- (42) Kuntze, J. : zit. nach: "Was gibt es Neues in der Medizin" Hannover 1952/53 S. 273
- (43) Lichtwitz, L. : Berliner klin. Wschr. 22 (1914) 1018 "Über den Einfluß der Muskelarbeit auf den Gehalt des Blutes an Zucker und Milchsäure"
- (44) Mering, J. v. : Verhdlg. d. 5. Congr. Inn. Med. (1886) 170 Diskussionsbeitrag

- (45) Mering, J. v. : Jena 1903 "Lehrbuch der Inneren Medizin"
- (46) Meythaler, F. u.
Droste, A. : Klin. Wschr. I (1934) 439 "Blutzuckeruntersuchungen bei leichtathletischen Sportarten"
- (47) Naunyn, B. : Wien 1900 "Spezielle Pathologie und Therapie" VII/I 9
- (48) Noorden, C. v. : Med. Klinik 1 (1933) 1 "Zur funktionellen Pathologie und Therapie der Zuckerkrankheit"
- (49) Pasargiklian, M. u.
Ghiringhelli, L. : Arbeitspsychologie 14 (1952) 460 "Der Einfluß der Arbeit auf den Stoffwechsel der Ketonkörper bei Zuckerkranken"
- (50) Peters, J. P. u.
Van Slyke, D. D. : Baltimore 1946 "Quantitative Clinical Chemistry" Vol. I
- (51) Rostoski : Kongr. dtsh. Gesellsch. inn. Med. (1928) 253 Diskussionsbeitrag
- (52) Rothkopf, H. u.
Schorn, K. H. : Münchner med. Wschr. 82 (1935) 1681 "Über die Azetonausscheidung von Diabetikern unter Arbeit"
- (53) Staub, H. : Ztschr. klin. Med. 93 (1922) 123 "Untersuchungen über den Zuckerstoffwechsel des Menschen" III Mitteilung
- (54) Thannhauser, S. J. u.
Pfitzer, H. : Münchner med. Wschr. 60 (1913) 2155 "Über experimentelle Hyperglykämie beim Menschen durch intravenöse Zuckerinjektion"
- (55) Trousseau, A. : Medizinische Klinik des Hotel Dieu Würzburg 1868 Bd. 2 746
- (56) Weiland, W. : Arch. klin. Med. 92 (1908) 223 "Über den Einfluß der ermüdenden Muskularbeit auf den Blutzuckergehalt"

- (57) Wiechmann, E. : München 1953 "Die Zuckerkrankheit"
- (58) Wunderlich, C.A. : Stuttgart 1856 "Pathologie und Therapie"
- (59) Zachariae, G. : Inauguraldissertation Göttingen 1914, "Über den Einfluß der Muskelarbeit auf den Gehalt des Blutes an Zucker bei Gesunden und Diabetikern"
- (60) Zimmer, K. : Karlsbad 1880 "Die Muskeln eine Quelle, Muskelarbeit ein Heilmittel bei Diabetes"

Lebenslauf

Am 3. Dezember 1934 wurde ich, Renate Agnes Giel, als Tochter des Amtsgerichtsrats Ulrich Giel und seiner Ehefrau Dr.med. Margarete, geb. Tücking in München geboren.

Ich besuchte zwei Jahre lang die Volksschule in Passau und trat im Herbst 1943 in die dortige Mädchenoberschule ein. 1946 kam ich in das Lyceum von Schwelm in Westfalen. Von 1947 an besuchte ich das dortige mathematisch-naturwissenschaftliche Gymnasium, an dem ich Ostern 1952 die Reifeprüfung ablegte. Die fünf vor-klinischen Semester studierte ich in Bonn und Freiburg im Breisgau, wo ich 1954 das Physikum machte. Anschließend studierte ich zwei Semester in Heidelberg und vier Semester an der Universität München. An dieser legte ich im Winter 1957/58 das ärztliche Staatsexamen ab.

